



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA  
OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE YUCA  
(*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

Presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: ELIANA MONSERRATH TIPANTASIG CÓRDOVA**  
**TUTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA**

Riobamba-Ecuador  
2018

**©2018, Eliana Monserrath Tipantasig Córdova**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO}**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal de Trabajo de Titulación certifica que el trabajo de titulación “DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ)”, de responsabilidad de la señorita Eliana Monserrath Tipantasig Córdova, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza

.....

.....

**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Eliana Monserrath Tipantasig Córdova, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 23 de noviembre del 2018

Eliana Monserrath Tipantasig Córdova  
180502253-8

“Yo, ELIANA MONSERRATH TIPANTASIG CÓRDOVA, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

Eliana Monserrath Tipantasig Córdova

180502253-8

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres Holger y Amparito que gracias a su sacrificio, esfuerzo, apoyo y ejemplo he conseguido cumplir y culminar con una de mis tantas metas propuestas. Por ser mi soporte e impulso para continuar a pesar de cualquier adversidad.

Eliana.

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios quien nos ha bendecido con la salud y la vida para poder cumplir esta meta, así como esa tenacidad, esfuerzo y lucha para sobrellevar cualquier problema de la mejor manera.

Agradezco infinitamente a mis padres por ese amor y apoyo incondicional, por ser esos héroes que estaban para mí cuando lo necesitaba, por inculcarme ese ejemplo de lucha, fortaleza, dedicación y esfuerzo. A mis hermanos Mónica y Hernán que con su ejemplo y palabras de aliento me han apoyado siempre. A mis abuelitos Enoc e Isabel y sobre todo a esos ángeles que sé que desde el cielo siempre me cuidan y protegen Marianita y Vito.

A mi familia y amigos por ser parte de esta gran aventura, en esta etapa que marcara un antes y un después en mi vida. Todo esto es por ustedes y para ustedes.

A mi tutora Ing. Mayra Zambrano que gracias a sus conocimientos y paciencia ha sido una gran guía durante este camino y un gran aporte para poder cumplirlo de una manera exitosa.

Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por ser quien me brindo una oportunidad de cumplir este sueño, a los docentes que en este transcurso han impartido sus conocimientos y anécdotas; a quienes les debemos nuestra formación.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>CAPITULO I</b>	
<b>1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Identificación del Problema</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Justificación del proyecto</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Línea base del proyecto</b> .....	<b>3</b>
1.3.1 Antecedente.....	3
1.3.2 Marco Conceptual .....	3
1.3.3 Beneficiarios directos e indirectos .....	12
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2 OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 General</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPITULO III</b>	
<b>3 ESTUDIO TÉCNICO</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Localización del proyecto</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2 Ingeniería del proyecto</b> .....	<b>15</b>
3.2.1 Tipo de estudio .....	15
3.2.2 Métodos y técnicas .....	15
3.2.3 Resultados de la caracterización de la materia prima Yuca .....	21
3.2.4 Procedimiento a nivel de laboratorio.....	21
3.2.5 Operaciones Unitarias para la obtención del Bioetanol. ....	27
3.2.6 Escalado a nivel Industrial .....	30
3.2.7 Balance de Masa y Energía .....	35
<b>3.3 Proceso de producción</b> .....	<b>51</b>

3.3.1 Materia prima, reactivos e insumos.....	51
3.3.2 Diagrama del proceso para la obtención de Etanol a partir de yuca.....	52
3.3.3 Descripción del diagrama.....	53
<b>3.4 Propuesta de diseño.....</b>	<b>54</b>
3.4.1 Descripción del proceso .....	54
<b>3.5 Requerimientos de tecnología, maquinaria y equipos.....</b>	<b>55</b>
<b>3.6 Costos de Producción .....</b>	<b>56</b>
3.6.1 Costos de equipos.....	56
3.6.2 Informe de evaluación económica.....	57
3.6.3 Costo producción 1 Litro de Bioetanol .....	58
3.6.4 Resumen estimado de capital fijo.....	58
3.6.5 Resumen del proceso de costos de materiales .....	59
3.6.6 Resumen del proceso de costos de servicio públicos .....	59
3.6.7 Costos de operación anual.....	59
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b> Características y propiedades del Etanol .....	7
<b>Tabla 2-1</b> Clasificación taxonómica de la Yuca.....	9
<b>Tabla 3-1</b> Propiedades y usos de la Yuca.....	10
<b>Tabla 4-1</b> Composición química de la Yuca .....	11
<b>Tabla 5-1.</b> Propiedades físico químicas de la yuca .....	11
<b>Tabla 1-3</b> Características Geográficas de Riobamba .....	14
<b>Tabla 2-3</b> Técnica para la determinación de fibra en la muestra de Yuca (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) .....	16
<b>Tabla 3-3</b> Técnica de determinación de humedad en la muestra de Yuca (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) .....	17
<b>Tabla 4-3</b> Técnica de determinación de Almidón en la muestra de Yuca (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) .....	17
<b>Tabla 5-3</b> Técnica de determinación de Azúcares Reductores en la muestra de Yuca (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ) .....	18
<b>Tabla 6-3</b> Técnica de determinación de Cenizas en la muestra de Yuca (MANIHOTESCULENTA CRANTZ) .....	19
<b>Tabla 7-3</b> Norma INEN 2478:2009.....	19
<b>Tabla 8-3</b> Norma INEN 935 .....	20
<b>Tabla 9-3</b> Resultado análisis físico químico materia prima Yuca .....	21
<b>Tabla 10-3</b> Requerimiento físicos de materia prima .....	21
<b>Tabla 11-3</b> Formulación método procesamiento almidón de yuca .....	22
<b>Tabla 12-3</b> Materiales utilizados a nivel laboratorio.....	22
<b>Tabla 13-3</b> Formulación de reactivos utilizados .....	23
<b>Tabla 14-3</b> Resultados Etanol de Yuca .....	27
<b>Tabla 15-3</b> Variables del Proceso.....	31
<b>Tabla 16-3</b> Dimensionamiento de Equipos Caja genérica, lavadora y trituradora.....	45
<b>Tabla 17-3</b> Dimensionamiento de Banda transportadora y Bombas .....	45
<b>Tabla 18-3</b> Dimensionamiento Reactores agitadores .....	46
<b>Tabla 19-3</b> Dimensionamiento Mezcladores.....	46
<b>Tabla 20-3</b> Dimensionamiento Intercambiadores de calor.....	47
<b>Tabla 21-3</b> Dimensionamiento tanques.....	47
<b>Tabla 22-3</b> Dimensionamiento Filtros de cinturón.....	48
<b>Tabla 23-3</b> Dimensionamiento Divisor de flujos .....	48
<b>Tabla 24-3</b> Dimensionamiento Fermentadores .....	49

<b>Tabla 25-3</b> Dimensionamiento Columnas de destilación .....	49
<b>Tabla 26-3</b> Dimensionamiento Columna GAC .....	50
<b>Tabla 27-3</b> Materia Prima, reactivos e insumos .....	51
<b>Tabla 28-3</b> Descripción etapas diseño del proceso .....	54
<b>Tabla 29-3</b> Requerimientos Maquinaria.....	55
<b>Tabla 30-3</b> Costo de equipos requeridos .....	56
<b>Tabla 31-3</b> Informe de evaluación económica .....	57
<b>Tabla 32-3</b> Costo producción 1Litro .....	58
<b>Tabla 33-3</b> Resumen estimado de capital fijo .....	58
<b>Tabla 34-3</b> Resumen del proceso de costos de materiales .....	59
<b>Tabla 35-3</b> Resumen del proceso de costos de servicios públicos .....	59
<b>Tabla 36-3</b> Costo de operación anual .....	60
<b>Tabla 37-3</b> análisis de rentabilidad.....	60
<b>Tabla 38-3</b> Análisis de Flujo de caja.....	61
<b>Tabla 39-3</b> Desglose del desembolso del capital.....	62

## **INDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A** Análisis físico químicos de Yuca (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ)

**ANEXO B** Caracterización de Bioetanol de Yuca

**ANEXO C** Proceso de Obtención de bioetanol

**ANEXO D** Obtención de Bioetanol por hidrólisis ácida

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad realizar el diseño de un proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de yuca. Para esto se realizó la caracterización físico química de la materia prima. Continuando con una hidrólisis ácida con HCl (ácido clorhídrico) con una concentración del 37%, trabajando a un pH 1.3. La esterilización se llevó a cabo en una autoclave de marca Tuttnauer, modelo 2340 controlando la presión 15Psi, Temperatura 121°C, y finalmente el tiempo de residencia de la muestra dentro del equipo de 30 minutos. Para continuar con una neutralización con NaOH (hidróxido de sodio) al 20%. La fermentación se ve marcada por el uso de levaduras (*Saccharomyces Cerevisiae*) así como el tiempo de 14 días. Mientras que en la destilación la temperatura no debe exceder los 72°C para así obtener un producto inicial de 40°GL. La deshidratación se la realizó en un rotavapor BUCHI R-300 en el que se obtuvo un producto de 96.29°GL, con un rendimiento del 27%. Motivo por el cual se propone un diseño operacional que obtiene un producto del 99.77% de pureza de etanol el mismo que se llevó a cabo mediante el software SuperPro Designer v9.0, el diseño se dividió en tres secciones como son: pre tratamiento, fermentación y separación (destilación y deshidratación). En la etapa de deshidratación se recomienda el uso de una columna de destilación CAG la misma que está compuesta de una cama de carbón granular lo que nos ayudara a elevar la pureza de etanol. No obstante mediante el análisis económico se muestra que la implementación del diseño no es factible debido a que la recuperación del capital será de 10.64 años.

**PALABRAS CLAVE:** <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <YUCA (*Manihot esculenta crantz*)>, <DISEÑO DE PROCESO>, <HIDRÓLISIS ÁCIDA>, <FERMENTACIÓN>, <DESTILACIÓN>, <DESHIDRATACIÓN>, < BIOETANOL>, <BIOCOMBUSTIBLE>.

## ABSTRACT

The present certification work was to design an industrial process to obtain bioethanol from cassava (yuca). Therefore, laboratory tests were carried out to determine each one of the variables in the different stages. This began with the physico-chemical characterization of the raw material. Continuing with an acid hydrolysis with HCl (hydrochloric acid) with a concentration of 37%, working with a pH of 1.3. The sterilization was carried out in a Tuttnauer brand autoclave, model 2340, controlling the pressure 15Psi, Temperature 121°C, and finally the residence time of the sample inside the equipment for 30 minutes. To continue with a neutralization with NaOH (sodium hydroxide) at 20%. The fermentation is marked by the use of yeast (*Saccharomyces Cerevisiae*) as well as the time of 14 days. While in distillation, the temperature should not exceed 72°C in order to obtain an initial product of 40°GL. The dehydration was performed on a BUCHI R-300 rotary evaporator in which a product of 96.29°GL was obtained, with a yield of 27%. For this reason, an operational design that obtains a product of 99.77% of ethanol purity is proposed, the same which was carried out by SuperPro Designer v9.0 software. The design was divided into three sections such as: pre-treatment, fermentation and separation (distillation and dehydration). In the dehydration stage, it is recommended to use a CAG distillation column, which is composed of a granular carbon bed, which will help us to increase the purity of ethanol. However, through economic analysis it is shown that the implementation of the design is not feasible because the recovery of the capital will be 10.64 years.

**Key Words:** <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <CASSAVA (*Manihot esculenta crantz*)>, <PROCESS DESIGN>, <ACID HYDROLYSIS>, <FERMENTATION>, <DESTILATION)>, <DEHIDRATION>, <BIOETHANOL>, <BIOFUEL>.

## CAPITULO I

### 1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Identificación del Problema

Según la Convención en el Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático el término “Cambio Climático” se define como la transformación generada directa o indirectamente por toda actividad humana que puede modificar la composición de la atmósfera, evidencia que ha sido percibida durante el transcurso de los años. (CEPAL, 2016)

La contaminación se considera en la actualidad uno de los principales problemas que ha ocasionado el hombre con el paso del tiempo, esta contaminación ha sido producida por distintas fuentes. (OMS, 2015). Las fuentes principales de contaminantes de aire se han clasificado en primarios y secundarios, dentro de los contaminantes primarios son los cuales permanecen en la atmósfera y son despedidos por una fuente sean éstos: partículas, óxidos de azufre, de nitrógeno, hidrocarburos y monóxidos de carbono, mientras que las fuentes contaminantes secundarias se consideran a todas aquellas sustancias que están sujetas a un cambio químico. (ECODES, 2010)

El uso de combustibles fósiles en el medio ha ido generando con el paso de los años diversos problemas que en la actualidad se desea erradicar, la contaminación de la naturaleza y de la capa de ozono por la producción de gases invernadero, las mismas que son las consecuencias del consumo de dichos combustibles; en nuestro país en especial se consume sea como productos primarios o como subproductos, los mismos que están destinados a diversos usos como: calefacción, cocción y en especial para transporte. (GEOTERMIA, 2012)

Dentro de los países productores de Yuca en el mundo Ecuador se ubica dentro de los 20 países con crecimiento de exportación a partir del 2004, dentro de esto se sabe que en nuestro país se cultiva alrededor de 29,608 Ha de yuca las mismas que la mayoría se utilizan para la exportación (CORPEI Ecuador).

Hoy en día dicha actividad ha decaído notablemente por tal motivo los agricultores se encuentran buscando alternativas para mitigar dicho problema ya que este producto tiende a deteriorarse con facilidad, cabe recalcar que la yuca es muy utilizada en un sin número de procesos industriales pero que no es aprovechada en su totalidad.

## **1.2 Justificación del proyecto**

En la actualidad se busca reemplazar el uso de combustibles fósiles y de cierta manera remediar el daño causado en todos estos años al medio ambiente debido a la contaminación producida por los seres humanos. Una de las principales fuentes de contaminación que las personas utilizamos diariamente es el transporte, razón por la cual el presente tema se direcciona al diseño de un proceso industrial para la obtención de biocombustible a partir de yuca (*Manihot esculenta crantz*). (Ferran, 2003)

Se conoce que la producción de energías limpias ha ganado espacio, razón por la cual hoy se apuesta por el uso de dichos productos; de esta manera sabiendo que en nuestro país la práctica de la agricultura es muy marcada en cierto sectores, se desea aprovechar el exceso de producción y el desperdicio de la yuca (*Manihot esculenta crantz*) para producir un tipo de biocombustible que ayude a subsanar dicho problema. Motivo por el cual se justifica plenamente la realización del proyecto. (Camargo, y otros, 2013)

Así mismo con este proyecto propuesto se busca aprovechar de alguna manera todo ese producto que es desechado o mal utilizado ya que para la realización del bioetanol propuesto se puede aprovechar la yuca en distintas presentaciones, sea esta con el tubérculo entero, la cáscara o rechazo generados, al igual que con el almidón refinado. (Vázquez, y otros, 2007)

Hoy en día los productores de yuca están pasando por un mal momento en cuanto a las exportaciones y el precio sugerido, razón por la cual el producto no está siendo aprovechado de la manera acostumbrada, y se busca de tal forma recuperar lo invertido en dicha producción y generar un cambio dentro del uso de combustibles fósiles que está tan arraigado en la sociedad.

La finalidad de producir un biocombustible muy aparte de ayudar a los productores de este tipo de fruto se basa en conseguir concientizar a la gente de cierta forma a ser más racionales con las

cosas que se hace y con las consecuencias de las mismas, buscando un mejor estilo de vida para las generaciones futuras con una educación ambiental consciente.

### **1.3 Línea base del proyecto**

#### *1.3.1 Antecedente*

El presente trabajo se lo realiza con la finalidad de maximizar el uso de la yuca como biomasa, generando biocombustibles que nos ayudan a reducir la contaminación del ambiente. Reduciendo la emanación de gases invernadero que son los principales contaminantes que generan los combustibles fósiles.

La contaminación es uno de los principales problemas de la actualidad debido a la poca conciencia de la gente ante el daño que causa cada acción de la naturaleza; es por eso que las acciones que se tomen de aquí en adelante son de vital importancia para poder generar un cambio en un futuro no muy lejano.

Es por eso que el uso de elementos sustitutos o que pueden servir como aditivos para disminuir la contaminación dentro del uso de los derivados del crudo ha generado una ola de investigaciones con el afán de ayudar a generar conciencia y de cierta manera disminuir esta contaminación.

#### *1.3.2 Marco Conceptual*

##### *1.3.2.1 Combustibles fósiles*

Los combustibles fósiles son considerados fuentes de energía no renovables, que son obtenidos a través de la combustión y procesamiento de restos de materia orgánica que han estado en reposo durante millones de años y que con la ayuda de los microorganismos presentes en la tierra se han transformado bajo ciertas condiciones especialmente de temperatura y presión. Dentro de los tipos de combustibles fósiles tenemos por ejemplo:

- **El carbón.** Considerada una sustancia de origen fósil que se halla en la superficie de la tierra, conocido que es de origen vegetal ya que se la obtiene de la descomposición lenta de la materia orgánica presente en los bosques, y la misma que se halla acumulada en lagunas y lugares pantanosos.

Por sus características la explotación de carbón genera una grave repercusión en el medio ambiente sea esta agua, suelo y atmosfera ya que muchas de las minas en las cuales se lo obtiene están a cielo abierto generando un gran impacto visual y la destrucción de extensas superficies sin remediar. El agua se ve afectado de manera en que en los lugares en los cuales se realiza el lavado de carbono en corrientes de ríos permite que los residuos de este sigan y afecten tanto a flora y fauna de lugares cercanos a donde ocurre el fenómeno. La atmosfera como tal es la más afectada en cuanto al uso de este tipo de combustible se refiere, debido a que emana diversos tipos de compuestos contaminantes como son partículas sólidas, dióxido de carbono, óxido de azufre y óxidos de nitrógeno. (García, y otros, 2015)

- **El petróleo.** Es una mezcla de hidrocarburos provenientes de elementos ricos en restos animales y vegetales de origen marino, el petróleo en dichas áreas está acompañado de gas natural, que es considerado como otro tipo de combustible, el mismo que es utilizado sin ningún tipo de transformación. Los productos obtenidos de la transformación del petróleo son los más utilizados en la actualidad por ende los que producen el mayor porcentaje de contaminación en el medio. (Fontaine, 2003)

Como es de conocimiento general la extracción de petróleo sobretodo dentro de campos marinos así como su transportación se ha visto marcada por grandes tragedias, debido a su mala manipulación o errores

- **Gas Natural.** El gas natural se encuentra en conjunto con el petróleo se lo conoce como la fracción más ligera dentro de los hidrocarburos, y está compuesta principalmente por metano. (Rofman, 1999)

#### *1.3.2.2 Uso de los hidrocarburos*

- **Salud** Dentro del ámbito de la salud y medicina los hidrocarburos se encuentran presentes en la mayoría de los medicamentos ya que estos son sintetizados a partir de sustancias derivadas del petróleo, es así que tenemos como ejemplo: aspirina, ibuprofeno, de tal manera hasta llegar a 5 millones de medicamentos. Pero los medicamentos no son los únicos elementos derivados del petróleo que encontraremos en un hospital, ya que la mayoría de prótesis, órganos artificiales, reflectores de quirófano, envases desechables o jeringuillas están confeccionadas si no es en su totalidad seria en un gran porcentaje de dichos derivador. (Campodónico, 2004)

- **Industria** En el campo de la industria los hidrocarburos cumplen un papel muy importante ya que en la mayoría de estas los materiales derivados de petróleos sean estos: combustibles, detergentes, lubricantes, disolventes, plásticos, etc. Los cuales son utilizados dentro de los procesos de fabricación de varios productos, así como la distribución de estos se debe al uso de estos derivados. (Campodónico, 2004)
  
- **Cosmética** Un tipo de industria que más utiliza los derivados de los hidrocarburos es la industria cosmética dentro de la fabricación de los labiales, lápiz de ojos, la máscara de pestañas, la crema hidratante los mismos que utilizan la vaselina o parafina, para dar consistencia, cuerpo e incluso aromas a estos productos. (Perdomo, 2002)
  
- **Hogar** Si existe un material derivado del petróleo que es protagonista en muchos de los hogares es el plástico, este tipo de elemento se encuentra en: juguetes, envases de alimentos y bebidas, carcasas de productos electrónicos y electrodomésticos, tuberías de PVC. Pero también está presente en otros productos como detergentes y productos de limpieza; muebles, toallas o sábanas elaborados con fibras sintéticas, cubiertas de metacrilato, aislantes, pinturas y una lista sin fin de otros productos. (Perdomo, 2002)

### *1.3.2.3 Contaminación por Hidrocarburos*

En la actualidad la problemática mundial acerca de la contaminación ambiental es un tema evaluado a diario por diferentes tipos de organizaciones que tratan de erradicar dicha contaminación creando conciencia. El uso de hidrocarburos a diario ha generado un deterioro en la capa de ozono debido a la constante emisión de CO<sub>2</sub> que es considerado como el causante de la contaminación atmosférica. (Díez, y otros, 1999)

Su uso en actividades tanto domésticas, industriales, comerciales e incluso actividades agropecuarias han aportado de manera negativa debido a la emisión de contaminantes como: monóxidos de carbono, óxido de nitrógeno, partículas de hidrocarburos, óxidos de azufre, de otro modo los óxidos fotoquímicos que al entrar en contacto con el medio ambiente está sujeto a cambios químicos. Cabe recalcar que la mayor contaminación se ha visto dentro de los sectores industriales y con mayor flujo de automóviles. (OMS, 2015)

#### *1.3.2.4 Biocombustibles*

Los biocombustibles son provenientes de toda la materia orgánica de la cual esta constituidos todos los entes vivos sean estos de origen animal u origen vegetal, es decir que se puede aprovechar dicha materia tanto los productos que lo contienen, así como los desechos que generan los mismos, mediante procesos industriales o artesanales. (Ramos, y otros, 2016)

Según las investigaciones se ha llegado a determinar que los biocombustibles se los puede encontrar en forma sólida, líquida o en forma gaseosa; como por ejemplo biogás, hidrógeno, aceites sean estos vegetales de pirolisis o esteres derivados, y finalmente compuestos lignocelulósicos sean estos: paja, astillas, leña o carbón vegetal. (Serna, y otros, 2011)

Según el concepto de I. Mateos Moreno. (2006) que define la biomasa como el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. (Abril, y otros, 2012)

La biomasa que es fundamentalmente de composición vegetal se considera como una fuente de energía renovable, ya que mediante su proceso de fotosíntesis se conoce que transforman la energía solar en energía química que permite que las plantas sobrevivan a distintos tipos de climas. Y estas están clasificadas de acuerdo a su procedencia en Industrial, ganadera, urbana, agrícola y forestal. (González, y otros, 2008)

#### *1.3.2.5 Etanol*

Alcohol etílico también conocido con el nombre de Etanol es un compuesto químico que se presenta en forma líquida incoloro, con un olor característico al alcohol mismo de consistencia y apariencia similar a la del agua, Es inflamable, y posee un punto de ebullición de 78°C, es de fácil miscibilidad sobre todo con el agua ya que forma una sustancia azeotrópica. (Ethanol Production Using Corn, Switchgrass and Wood., 2005). A continuación, en la Tabla 1-1 se detalla una tabla de características y propiedades del etanol, dando a conocer cada uno de sus valores.

**Tabla 1-1.** Características y propiedades del Etanol

Estado	Líquido
Apariencia	Incolora
Densidad	810 kg/m <sup>3</sup>
Masa molecular	46,07 uma.
Punto de fusión	-114.1 °C
Punto de ebullición	78,6°C
Temperatura crítica	241 °C
Presión crítica	63 atm.

Fuente: (Abril, y otros, 2012)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

#### 1.3.2.6 Etanol anhidro

El etanol anhidro, etanol carburante o etanol absoluto como se lo conoce en el medio, es un etanol con la misma composición o estructura de etanol convencional pero que posee una fracción muy pequeña de agua en su mezcla. Dentro de los parámetros que rige un etanol anhidro es que debe poseer hasta un rango de 0,5% de agua eso quiere decir que este debe estar constituido por un 99,50% hasta 99,99% de etanol, razón por la cual se considera apto para ser utilizado en mezclas con combustibles por tal razón se lo conoce como etanol carburante; ya que con dicha mezcla se puede producir un combustible oxigenado considerado de mejor calidad, debido a que este reduce los gases de combustión. Se conoce que el etanol carburante posee un índice de octano superior al de la gasolina por tal motivo es considerada como una alternativa viable para su uso en automotores. (Torres, y otros, 2002)

Es muy utilizado como un aditivo sobre todo para los combustibles como la gasolina, debido a que su uso disminuye la emisión de gases de combustión ya que este presenta menor presión de vapor en comparación de la gasolina; dentro del ámbito farmacéutico este tipo de etanol es usado para análisis de laboratorios. (Cardona, y otros, 2005)

#### 1.3.2.7 Bioetanol

El bioetanol es obtenido a través de fuentes vegetales, ricas en azúcares, almidones y materiales lignocelulósicos, cualquier material que dentro de su composición sea rico en las fuentes antes mencionadas será utilizable para la obtención de etanol. (Sanchez, 2010)

Hablando de bioetanol se debe partir diciendo que el mismo es un tipo de alcohol que se lo puede obtener de la misma manera que las bebidas alcohólicas normales, ya que se necesita cumplir con

un proceso de transformación de los azúcares presentes dentro de la muestra a utilizar, en conjunto con levaduras que ayudaran a la generación de los hidratos de carbono, los mismos que son fermentados hasta dar como resultado etanol.

Dentro de los materiales más utilizados para la obtención de Bioetanol, se encuentra la caña de azúcar ya que contiene un tipo de azúcar simple que se fermenta directamente por las levaduras existentes.

El almidón en los vegetales y el glucógeno en los animales son los polisacáridos que constituyen las reservas de energía de la vida vegetal y animal. La molécula de almidón está formada por unas 3 000 unidades de glucosa mientras que el glucógeno por 12 a 18 unidades. (Tejada, y otros, 2010)

Se conoce que, a inicios del siglo XX, en Cuba se comenzó a utilizar el etanol previamente obtenido de la caña de azúcar o de maíz en una mezcla en conjunto con gasolina que serviría para los motores de combustión interna de forma coyuntural. MOFUCO (Motor Fuel Company) como se llamaba en ese entonces la mezcla de etanol con gasolina que era utilizada en los automóviles de esa época.

El proceso de transformación de la glucosa en etanol la misma que es más conocida con el nombre de fermentación alcohólica con uso o ayuda de microorganismos o enzimas se reduce en una ecuación general, la misma que se representa a continuación:



La producción de etanol a partir de tubérculos o granos, alimentos en general ha generado una gran polémica debido a que muchas personas consideran que las fuentes alimenticias de los seres humanos no se deben utilizar para la producción de combustibles, debido a que su uso dentro de este proceso puede reducir la cantidad de alimentos destinados para las personas.

Dentro de las ventajas del bioetanol en comparación con los combustibles es que este es un recurso renovable que ayuda en cuanto a la reducción del impacto de la contaminación en el medio, a parte que ayuda a promover la economía dentro de los sectores de la agricultura, industrial y social debido a que mediante esta actividad se impulsa a que los agricultores aumenten

sus sembríos, por ende necesitan mano de obra que cuide y trabaje dichos sembríos, así como dentro de las industrias genera puestos de empleo tanto directos como indirectos, fomentando el desarrollo sobre todo de las regiones en las cuales se cultiva la materia prima. (Monsalve, y otros, 2006)

### 1.3.2.8 Yuca

*Manihot esculenta* Crantz es el nombre científico de la yuca, que fue dado originalmente por el científico Crantz en 1766, es una raíz de forma cilíndrica y de tipo oblonga, que puede alcanzar una altura de un metro y hasta unos 10 cm de ancho. Posee una cascara muy rugosa, leñosa que a pesar de ser no comestible puede ser utilizada para obtención de almidón. La pulpa puede ser de color blanco o amarillento, es firme y rígida posee fibras que son característicamente duras ya que contienen azúcares e hidratos de carbono, es por esa razón que se oxida con facilidad al estar en contacto con el ambiente. (Cock, 1989)

De acuerdo a la variedad a la que la planta pertenece puede poseer un tamaño y forma distinta, en las plantaciones de yuca se observa que cada una de las plantas posee ramificaciones que están divididas en dos o tres ramas, las mismas que se siguen ramificando hasta dar una forma coposa y redonda. En diversos países la yuca recibe el nombre de: Mandioca, Cassava, guacamote, Aipi Macacheira. (Barrera, y otros, 2010).

**Taxonomía:** A continuación, en la tabla 2-1 se describe la clasificación taxonómica de la Yuca:

**Tabla 2-1** Clasificación taxonómica de la Yuca

<b>Clasificación</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Característica</b>
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Familia</b>	Euphorbiaceae
<b>Género</b>	Manihot
<b>Especie</b>	M. esculenta

Fuente: (Cock, 1989)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

## Propiedades y usos de la yuca.

En la tabla 3-1 se detalla cada una de las propiedades y usos de la yuca dentro de los campos de salud, alimenticia, textil, farmacéutica, cosmética y papelera.

**Tabla 3-1** Propiedades y usos de la Yuca

<b>Propiedades y usos de la yuca</b>		
Dentro de las propiedades de la yuca y su clasificación más general tenemos:		
<b>Salud</b>	Fuente moderada de vitamina B, contiene minerales como magnesio, cobre y zinc.	Ayuda a tratar infecciones de tipo intestinal ya que actúa como capa protectora en las paredes intestinales.
	Reductor de niveles de colesterol.	Se conoce que ayuda a disminuir el dolor de articulaciones.
<b>Industria alimenticia</b>	Usado como texturizador de caramelos.	Estabilizador en productos congelados.
	Aglutinante de alimentos. Espesante de alimentos.	Agente coloidal. Protector de humedad.
<b>Industria Textil</b>	Encolante de estampados.	Almidonar tejidos.
<b>Industria Farmacéutica y cosmética</b>	Agente de dispersión.	Espolvorante como polvo
<b>Industria Papelera</b>	Adhesivo para papel y cartón	Aglomerante de formación

Fuente: (Cock, 1989)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

## Composición química de la yuca

La yuca es un tubérculo deficiente en proteínas, vitaminas, minerales y grasas, se conoce que posee un alto contenido de vitamina C, pero un contenido muy bajo de vitamina H, además posee un alto contenido de almidón y fibra.

Posee varios compuestos secundarios dentro de la raíz como son los poli fenoles y los taninos. Los cuales son los responsables del deterioro que sufre la yuca después de la cosecha. También posee una cantidad variable de cianuro que está muy ligada a la edad que posee la planta, así como el suelo en el que este se encuentra y el factor más importante es la época en la cual se cosecha. A continuación, en la tabla 4-1 se detalla cada uno de los componentes del tubérculo.

**Tabla 4-1** Composición química de la Yuca

<b>Componente de la raíz</b>	<b>Contenido</b>
Energía	1460 cal/kg
Agua	66.00%
Carbohidratos	35%
Proteína	1.2%
Grasa	0.2%
Fibra	3.1%
Ceniza	1.9%
Calcio	330 mg/kg
Hierro	7mg/ kg
Fósforo	440 mg/kg
Vitamina A	0.21 mg/kg
Tiamina	0.6 mg/kg
Niacina	6 mg/kg
Vitamina C	360 mg/kg

Fuente: Ospina y Ceballos, 2002

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades físico química varían de acuerdo a la variedad de la cual sea muestreada si es verdad no existe un cambio muy relevante en las mediciones hechas, pero se conoce que estas van a depender de la época en la que esta es cosechada; pero una raíz cosechada a tiempo se conoce que posee las siguientes propiedades. En la tabla 5-1. Se detalla cada uno de los valores dentro de las propiedades físico química de la yuca.

**Tabla 5-1.** Propiedades físico químicas de la yuca

<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>pH</b>	4,5 a 6,5
<b>Humedad</b>	12 a 14%
<b>Factor Ácido</b>	2,0 a 3,0 ml/ 25g
<b>Fibras</b>	0,1 a 0,8 ml/ 50g
<b>Pulpa</b>	Max 0,5
<b>Acidez</b>	1,00 a 1,22 g de ácido láctico/ 100 g
<b>Viscosidad</b>	62 a 68%
<b>Blancura</b>	93%
<b>Cenizas</b>	0,2 a 0,3%

Fuente: Ospina y Ceballos, 2002

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### *1.3.2.9 Destilación*

La destilación es una operación unitaria mediante la cual se logra separar una mezcla de dos productos miscibles líquidos. Es una técnica utilizada principalmente para separar mezclas binarias o azeotrópica.

Esta operación es de gran interés dentro del ámbito industrial, ya que ayuda a separar mezclas por medio de aditivos que sirven como agentes de separación, también conocido como solvente.

### *1.3.2.10 Destilación al vacío*

En este tipo de sistema se cuenta con dos columnas en las cuales la primera columna se alimenta con la solución que debe estar diluida para ser llevada hasta un punto cercano a la de una mezcla azeotrópica y después de esto pasa a una segunda columna en la cual se produce el vacío en el cual se deshidrata el etanol hasta llegar a un 99% de pureza de etanol. Aunque de cierta manera económicamente hablando es un tipo de destilación muy poco factible, debido a que esta consta de alrededor 60 etapas y una columna con un alto reflujo y con diámetro de columna excesivo, al igual que con un consumo de energía muy elevado.

## *1.3.3 Beneficiarios directos e indirectos*

### *1.3.3.1 Beneficiarios Directos*

Los beneficiarios directos de este proyecto serán todas aquellas personas que consuman el producto final, debido a que el propósito de este proyecto es reducir de cierto modo la contaminación producida por el uso de combustibles fósiles y de esta manera ayudar a mejorar el estilo de vida de las personas. Así como la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que es el lugar elegido para diseñar la planta productora del Bioetanol en la cual se va a producir.

### *1.3.3.2 Beneficiarios Indirectos*

Mientras que los beneficiarios indirectos serán todos los productores de yuca a los cuales se les comprara su producto. Ya que se conoce que la producción de yuca está concentrada en su mayoría dentro de provincias como Cotopaxi y los Ríos.

## CAPITULO II

### 2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### 2.1 General

- “Diseñar un proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*)”

#### 2.2 Específicos

- Realizar la caracterización físico química de la materia prima a utilizar (Yuca).
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el proceso de obtención de bioetanol y comparar la mezcla de biocombustible obtenido con un biocombustible comercial (Ecopaís).
- Validar el proceso para la obtención bioetanol a partir de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) bajo las normas NTE INEN 2478 (Etanol anhidro) y determinar la factibilidad técnica del diseño propuesto.

## CAPITULO III

### 3 ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del proyecto

El proyecto se encontrará ubicada dentro de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Ciencias en los laboratorios de Química Orgánica, Química Instrumental y Operaciones Unitarias pertenecientes a la Escuela de Ingeniería química ubicados en la provincia de Chimborazo, en el cantón Riobamba Parroquia Lizarzaburu, en las coordenadas -1.6550528,-78.6808223, 253 m. En la tabla 1-3 se detalla cada uno de los detalles de la ubicación geográfica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

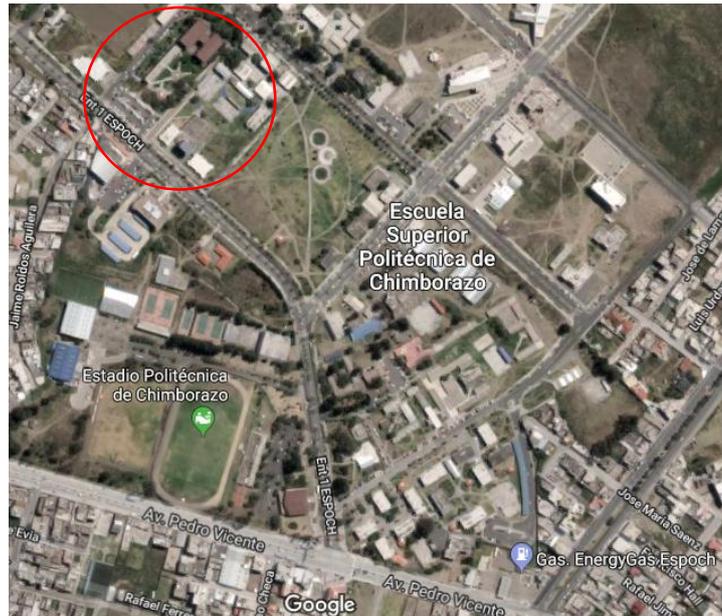
**Tabla 1-3** Características Geográficas de Riobamba

ELEMENTO		UBICACIÓN
Continente		América
País		Ecuador
Provincia		Chimborazo
Cantón		Riobamba
Altitud		2822 m.s.n.m
Localización coordenada Utm		17 M 758393.95 m E UTM
		9817026.05 m S
Localización	Coordenadas geográficas	78°40'39.24"de Longitud occidental
		°39'14.58" de latitud Sur

Fuente: Google Maps

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

A continuación en la figura 1-3 se detalla la vista geográfica y ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sitio en el cual se desarrolló el proyecto de titulación.



**Figura 1-3** Vista geográfica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Fuente: (Google, 2018)

## 3.2 Ingeniería del proyecto

### 3.2.1 Tipo de estudio

El diseño del proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de yuca, es un proyecto de tipo técnico, el mismo que mediante la aplicación de diversas operaciones unitarias y con ayuda de estudios de tipo: inductivo, deductivo y experimental. Así como recolección de datos, aplicación de ensayos e identificación de distintas variables nos permite establecer un método determinado con la finalidad de obtener un producto de calidad con un valor agregado.

### 3.2.2 Métodos y técnicas

#### 3.2.2.1 Métodos

Para la realización del diseño de un proceso industrial para la obtención de bioetanol se utilizaron los métodos, deductivo, inductivo y experimental, los mismos que son de vital importancia para la obtención de datos por consiguiente toma de decisiones y un correcto diseño del proceso.

- Método Inductivo: Para iniciar con el presente proyecto se procedió a realizar la recolección de: información, muestras, materia prima, variables; las cuales han sido obtenidas de fuentes bibliográficas sean físicas o digitales, así como datos de normas vigentes.
- Método Deductivo: En el presente método se aprovecha de manera íntegra la materia prima a utilizar en este caso la yuca, iniciando con un análisis proximal así como un análisis fisicoquímico, los mismos que ayudaran a determinar la calidad de la materia a utilizar durante nuestro proceso y de esta manera obtener variables y condiciones importantes que será utilizados dentro de los cálculos a utilizarse en el diseño.
- Método Experimental: Para iniciar con el método experimental se realizaron diferentes pruebas dentro de los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, los mismos que nos permitieron determinar la factibilidad de la producción, así como la transformación de la materia prima en el producto deseado mediante transformaciones de la materia sometida a diversas operaciones unitarias. Los cuales nos permitieron determinar parámetros fundamentales para la corrección del proceso en las diferentes etapas del proceso.

### 3.2.2.2 Técnicas

Para dar inicio al proceso de producción, es vital realizar la caracterización físico-química de la materia prima la misma que nos da a conocer la calidad del alimento a procesar.

**Tabla 2-3** Técnica para la determinación de fibra en la muestra de Yuca (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)

Fundamento	Materiales	Técnica
Está técnica se basa en conocer la cantidad de fibra presente en un alimento mediante una digestión ácida y alcalina para posteriormente mediante una calcinación el porcentaje total de fibra.	$H_2SO_4$ 0,25 N $NaOH$ 0,313 N $H_2O$ Capsula de porcelana Desecador Embudo Buchner Matraz Kitasato Papel filtro Digestor de fibra Vaso de precipitación Crisol	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A 2g de muestra es extraída la grasa presente.</li> <li>2. Se transfiere la muestra a un vaso de 600ml evitando el contacto con la fibra de papel.</li> <li>3. Agregamos 1g de asbesto preparado y 200 ml de <math>H_2SO_4</math> hirviendo.</li> <li>4. Colocamos el vaso en el digestor y lo movemos periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.</li> <li>5. Quitamos el vaso y filtramos mediante un lienzo.</li> <li>6. Lavamos el vaso con agua hirviendo y lo vertemos en el papel filtro.</li> <li>7. Lavamos el residuo hasta que el pH del residuo sea igual al pH del agua destilada.</li> </ol>

		8. Transferimos el residuo a un vaso con 200 ml de NaOH hirviendo y calentamos por 30 min. 9. Filtramos nuevamente mediante Buchner y papel filtro. 10. Lavamos el residuo y lo transferimos a un crisol, ponemos a secar a 130°C durante 2 horas. 11. Enfriamos y determinamos su masa. 12. Calcinamos a 600°C durante 30 min. 13. Para finalmente calcular la cantidad de fibra existente en la muestra.
--	--	---

Fuente: (AOAC Official Methods of Analysis)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 3-3** Técnica de determinación de humedad en la muestra de Yuca (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)

Fundamento	Materiales	Técnica
Se basa en la diferencia de peso después de una deshidratación en condiciones determinadas. La misma se expresa como porcentaje del peso perdido.	Balanza Estufa Crisoles Desecador Espátula	1. Pesamos las bandejas. 2. Posteriormente se pesa la muestra que va a ser colocada en cada una de las bandejas. 3. Y volvemos a pesar las bandejas con la muestra, colocamos en la estufa y determinamos la temperatura a la que vamos a secar la muestra. 4. Una vez colocada la muestra determinamos el intervalo de tiempo que vamos a pesar las bandejas. 5. Cada 30 minutos pesamos las bandejas y tomamos datos. 6. Repetitivamente hasta que el peso sea constante. 7. Con ayuda de estos datos determinamos la cantidad de agua que poseía la muestra.

Fuente: (Secretaría de Agricultura y recursos Hidráulicos, y otros)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 4-3** Técnica de determinación de Almidón en la muestra de Yuca (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)

Fundamento	Materiales	Técnica
Identificar la presencia de almidón en una muestra debido a la aparición de una coloración azul al combinarse la muestra de yuca con gotas de Lugol.	Yodo Yoduro Potásico Agua destilada Almidón Soluble Ácido Perclórico 4 matraces aforados de 50ml Matraz Erlenmeyer de 250cm <sup>3</sup> Reverbero	1. Se pesan 0.1 g de almidón soluble y se tratan con 10 ml de ácido perclórico al 52%, se mezcla para disolver y se deja reposar durante 10 minutos. 2. Una vez transcurrido los 10 min enrasamos con 100ml de agua destilada. 3. En cuatro matraces aforados de 50ml que contienen 2,5mo de ácido perclórico al 52%, se disponen 1; 1,5; 2 y 2,5ml de la solución de almidón y se enrasa con agua destilada. 4. Tomamos 10ml de cada matraz y se le añaden 0,5ml de la solución de yodo-yoduro potásico y se deja reposar por 10min en oscuridad.

		5. Transcurrido el periodo de tiempo se mide en el espectrofotómetro frente a un blanco, anotando el valor máximo de la absorbancia y el valor a 600nm.
--	--	---

Fuente: (Compañía Nestlé, S.A., y otros)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 5-3** Técnica de determinación de Azúcares Reductores en la muestra de Yuca  
(*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)

Fundamento	Materiales	Técnica
	Bureta	1. Preparar la solución patrón de glucosa sin agua a una concentración 100-300 mg%
	Pipetas graduadas de 5ml	2. Preparar la disolución de azúcar a partir de la muestra dependiendo de la misma. Si la muestra es una fruta, o un sólido, se debe extraer el jugo de la misma. Esto se hace con la ayuda de un mortero.
	Pipeta graduada de 20 ml	3. Se toman 20 ml del extracto obtenido y se colocan en un vaso de precipitación para luego añadir aproximadamente 25 ml de agua destilada.
	Erlenmeyer de 250 ml	4. Purificar la solución de azúcar agregando aproximadamente 10 ml de una solución saturada de acetato de plomo neutro. Agitar y posteriormente filtrar la solución.
	Matraces volumétricos de 100 ml	5. Adicionar una cantidad suficiente de Carbonato de sodio anhidro a la solución clarificada y agitar la solución.
	Vaso de precipitación de 250 ml	6. Pasar nuevamente y colocar el filtrado en un matraz volumétrico de 100 ml.
	Embudo de vidrio	7. Llevar a marca de aforo con agua destilada.
	Papel filtro	8. Cargar la bureta con la disolución previamente preparada.
	Agitador de vidrio	9. En un Erlenmeyer añadir 5 ml de Fehling A y 5 ml de Fehling B.
	Pinza para Erlenmeyer	10. Colocar el Erlenmeyer en baño maría hasta que hierva.
	Baño María simple	11. Añadir 4 gotas de azul de metileno 1%.
	Extracto de jugo	12. Iniciar la valoración, adicionando la disolución de azúcar a un ritmo de 1 ml cada 15-20 segundos.
	Mortero	13. Continuar en calentamiento y constante agitación.
	Reactivo de Fehling Solución de Acetato de Plomo Neutro Glucosa anhidra pura Carbonato de sodio anhidro Azul de Metileno	14. La prueba de valoración termina cuando el color azul, que es característico de la sal de cobre, desaparezca completamente del reactivo que está siendo valorado.

Fuente: (Anderson Clayton & Co. S.A., y otros)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 6-3** Técnica de determinación de Cenizas en la muestra de Yuca (*MANIHOT ESCULENTA CRANTZ*)

Fundamento	Materiales	Técnica
Eliminación por combustión a temperaturas superiores a 500°C (cenizas totales)	Crisoles Mufla	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las cenizas obtenidas por calcinación (en seco) se hierven con agua caliente</li> <li>2. La solución es filtrada en un papel filtro sin cenizas (o con cenizas conocidas)</li> <li>3. Se realizan lavados del papel con agua</li> <li>4. El papel es calcinado en las condiciones iniciales</li> <li>5. El producto son las cenizas insolubles en agua.</li> <li>6. La muestra o solución contiene minerales que pueden modificar el carácter ácido-base: Calcio, magnesio, sodio y potasio, las hacen alcalinas; cloruros, fosfatos y sulfatos no modifican.</li> </ol>

Fuente: (Cámara de Productos Alimenticios Elaborados con Le, y otros)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Para realizar el producto se tomó en cuenta la norma técnica ecuatoriana para la producción de Bioetanol específicamente la NTE INEN 2478:2009 (*Etanol anhidro requisitos*) que es la norma técnica dentro de nuestro país vigente en cuanto a los parámetros que este producto debe cumplir.

En cuanto a las pruebas que a las cuales se debe someter el bioetanol obtenido son las siguientes: Como la más importante tenemos las que se detallan en la siguiente tabla. (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009)

**Tabla 7-3** Norma INEN 2478:2009

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Φ Contenido de etanol	%	96,3	--	ASTM D 5501
Acidez total (Como ácido acético)	Mg/100ml	--	3.0	NTE INEN 341
Conductividad eléctrica	μS/m	--	500	ASTM D 1125
Densidad de a 20°C	Kg/m <sup>3</sup>	--	791,5	ASTM D 4052
Contenido de cloruros	mg/l	--	32	ASTM D 512
Φ Contenido de agua	%	--	0,3	ASTM E 203
Contenido de cobre	Mg/kg	--	0,1	ASTM 1688
Residuo por evaporación	Mg/100	--	5,0	ASTM D 381

pHe	--	6,5	9,0	ASTM D 6423
Φ Contenido de desnaturalizantes	%	2	3	ASTM D 6729

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2009)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

La norma técnica a utilizar en el caso del biocombustible será la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 935 (Productos derivados de petróleo, gasolina. Requisitos) en la misma se detalla cada una de las características de los combustibles que se expenden en el país usando como referencia los requisitos para Gasolina Extra 87 octanos (RON), en el que se especifica las características para combustibles añadidos etanol anhidro carburante.

**Tabla 8-3** Norma INEN 935

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Número de octano Research (RON) <sup>a</sup>	--	87	--	NTE INEN 2102
Destilación 10%	°C	--	70	ASTM D 86
Destilación 50%	°C	77	121	ASTM D 86
Destilación 90%	°C	--	189	ASTM D 86
Punto final	°C	--	220	ASTM D 86
Residuo de destilación	% <sup>b</sup>	--	2	ASTM D 86
Relación vapor – líquido a 60°C	--	--	20	ASTM D5188
Presión de vapor	kPa	--	60	ASTM D323 ASTM D4953 ASTM D5191
Corrosión a la lámina de cobre (3h a 50°C)	--	--	1	ASTM D130
Contenido de gomas	mg/100ml	--	3	ASTM D381
Contenido de azufre	% <sup>c</sup>	--	0,065	ASTMD2622 ASTM D4294 ASTM D5453
Contenido de aromáticos	% <sup>b</sup>	--	30	ASTM D1319
Contenido de benceno	% <sup>b</sup>	--	1	ASTM D3606 ASTM D5580 ASTM D6277 ASTM D6730
Contenido de olefinas	% <sup>b</sup>	--	18	ASTM D1319
Estabilidad a la oxidación	Min	240	--	ASTM D525 ASTM D7525
Contenido de oxígeno	% <sup>c</sup>	--	2,7	ASTM D4815 ASTM D5845
Contenido de plomo	mg/L	--	No detectable	ASTM D3237 ASTM D5059 ASTM D5185
Contenido de manganeso	mg/L	--	No detectable	ASTM D3831 ASTM D5185
Contenido de hierro	mg/L	--	No detectable	ASTM D5185

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.2.3 Resultados de la caracterización de la materia prima Yuca

En el método seleccionado se procedió a realizare el análisis proximal de la materia prima, el mismo que nos permite conocer los valores de humedad, ceniza, proteína, azucares reductores presentes en 100g de muestra. Obteniendo como resultado los valores representados en la siguiente tabla. Dichos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela de Nutrición y Dietética perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

**Tabla 9-3** Resultado análisis físico químico materia prima Yuca

MUESTRAS	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
HUMEDAD	4.9%	4.8%	4.8%
AZUCARES REDUCTORES	0.58	0.49	0.57
FIBRA	0.033%	0.029%	0.031%
CENIZAS	0.037	0.035	0.037
ALMIDÓN	3.5	3.6	3.5

Fuente: Lourdes Benítez MSc.

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Una vez obtenidos los resultados se conoce que la materia prima a utilizar es óptima y está dentro de los parámetros requeridos para continuar con el proceso.

### 3.2.4 Procedimiento a nivel de laboratorio

#### 3.2.4.1 Selección de Materia Prima

Para iniciar con la selección de la materia prima en este caso yuca revisamos que la materia prima a utilizar se encuentre dentro de las condiciones requeridas, esto quiere decir que la muestra a utilizar puede poseer daños, y con un grado de madurez avanzada para que la preparación pueda ser puesta a prueba y determinar con que formulación se obtendrá mejores resultados. En la tabla 10-3 se detalla los requerimientos de materia prima a utilizar en los métodos de laboratorio.

**Tabla 10-3** Requerimiento físicos de materia prima

Muestra Yuca	Requerimientos físicos de materia prima			
	Color	Olor	Grado de madurez	Deterioro
Muestra 1	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No contiene
Muestra 2	Aceptable	Aceptable	Avanzada	Contiene
Muestra 3	Aceptable	Aceptable	Avanzada	Contiene

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018.

Mediante esta prueba se determinó por medios visuales que la materia prima seleccionada se encuentra en estado óptimo para ser empleada dentro del proceso.

- **Materia Prima**

Dentro del manejo de la materia prima a nivel laboratorio la hemos dividido en dos etapas debido a que en los métodos utilizados la yuca debe ser tratada de diferente manera razón por la cual se especifica a continuación y con detalle cada uno de las técnicas realizadas.

3.2.4.2 *Descripción y Formulación Primer método (Procesamiento de Almidón de Yuca)*

Para iniciar con el proceso se determinó la cantidad de cada elemento a utilizar para trabajar y de tal manera establecer la formulación indicada para que el tratamiento funcione de manera correcta.

**Tabla 11-3** Formulación método procesamiento almidón de yuca

<b>Formulación 1</b>	<b>Formulación 2</b>	<b>Formulación 3</b>
10g de Almidón de yuca	10g de Almidón de yuca	10g de Almidón de yuca
100 ml de Ácido Muriático (25% concentración)	100 ml de Ácido Muriático (50% concentración)	100 ml de Ácido Muriático (100% concentración)
9ml Hidróxido de Sodio (NaOH)	15ml Hidróxido de Sodio (NaOH)	10ml Hidróxido de Sodio (NaOH)
4.2g Levadura (Saccharomyces Cerevisae)	4.2g Levadura (Saccharomyces Cerevisae)	4.2g Levadura (Saccharomyces Cerevisae)
7.5 g de Azúcar	7.5 g de Azúcar	7.5 g de Azúcar
100 ml de Agua destilada	100 ml de Agua destilada	100 ml de Agua destilada

Fuente: Laboratorio Química Orgánica y Química analítica ESPOCH

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

- **Materiales de Laboratorio**

Para la realización de este método se requieren los siguientes materiales a nivel de laboratorio.

**Tabla 12-3** Materiales utilizados a nivel laboratorio

<b>Materiales Principales</b>	<b>Materiales auxiliares</b>
Estufa	Balanza
Vasos de Precipitación de 200 ml	Tabla para picar
Varillas de agitación	Cuchillo
Pipeta 10ml	Recipiente
Molino de Bolas	Bolsas plásticas herméticas
Tamices	Mortero

Fuente: Laboratorio Química Orgánica y Química analítica ESPOCH

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

## - Reactivos Químicos

Como ya se lo ha mencionado previamente el uso de reactivos químicos es muy indispensable dentro del procedimiento realizado, ya que estos son quienes nos ayudaran a mejorar la cantidad de azúcares reductores dentro de nuestra muestra original.

**Tabla 13-1** Formulación de reactivos utilizados

Formulación	Reactivos	Cantidad
Formulación 1	HCL (Ácido muriático) 25% NaOH (Hidróxido de sodio)	100ml 9ml
Formulación 2	HCL (Ácido muriático ) 50% NaOH (Hidróxido de sodio)	100ml 15ml
Formulación 3	HCL (Ácido muriático ) 100% NaOH (Hidróxido de sodio) (NH <sub>4</sub> )Cl (Cloruro de amonio)	100ml 10ml 6g

Fuente: Laboratorio Química Orgánica y Química analítica ESPOCH

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Posteriormente, aunque no son consideradas como reactivos químicos sino como enzimas debemos tomar en cuenta que se empleó 4.02g de Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y 7.5g de Azúcar que es este caso es la sustancia encargada de la activación de la levadura.

Previamente se realiza una limpieza y pelado de la materia prima en este caso la yuca, la misma que es limpiada hasta retirar toda la capa exterior que contiene tanto tierra como cascara, posteriormente se procede a lavarla hasta retirar cualquier residuo que pudo haber quedado en está.

A continuación, se ralla la yuca de una manera muy fina, la cual es depositada en una bandeja previamente forrada con una capa de papel aluminio la misma que nos ayudara a eliminar de una mejor manera la humedad presente en la muestra, por lo consiguiente la muestra es ingresada en una estufa a una temperatura de 80°C por un tiempo de 24 horas.

Para continuar con el proceso una vez retirada la muestra seca esta se procede a llevarla a un molino de martillos en el cuál se reduce el tamaño de la muestra, para que este pueda ser pasado por un tamiz con luz de malla de 35 $\mu$  (micras) el mismo con el cual se obtiene una haría fina de yuca. Una vez realizado los procesos antes detallados se determinó que por cada 600g de yuca fresca se obtiene 140g de yuca seca la misma que fue molida y tamizada.

Una vez obtenida la harina tamizada con la cual se procede a realizar una hidrolisis ácida para lo que la muestra obtenida es depositada en vasos de precipitación. Teniendo una relación que por cada 100g de harina de yuca se utiliza 100ml de HCL a una concentración del 25%, 50%, 100%.

Para posteriormente ser tratada con NaOH (Hidróxido de sodio); se prepara una solución de agua con levadura comercial en este caso se usó (Levadura activa seca Levapan®), la misma que es una levadura de tipo *Saccharomyces cerevisiae*, la cual es activada con azúcar en agua tibia para obtener un mejor resultado. Una vez preparada ya la muestra se procede a dejar en fermentación anaerobia por un periodo de 4 a 7 días.

A continuación, se realiza la destilación proceso en el cual se dispone a depositare la muestra obtenida en un balón, el cual se lleva a un equipo de destilación preparado, vigilando que la temperatura no exceda los 70°C que es la temperatura en la cual se empieza a obtener las primeras gotas de alcohol. Dando como resultado una concentración muy baja de etanol de 17°GL.

#### 3.2.4.3 Descripción y formulación del segundo método (Hidrólisis ácida del almidón de yuca).

Para iniciar con el proceso se procede de la misma manera que en el método anterior teniendo en cuenta que no existe inconveniente en que la materia prima a utilizar presente cierto tipo de deterioro ya que se la puede aprovechar de una mejor manera, sin desperdiciar la materia.

Se inicia con un lavado y pelado de la yuca, mediante esta acción se retirara todo tipo de microorganismos no deseados que podrían afectar de cierta manera el proceso que se llevara a cabo. Para esta etapa se hace uso de un pelador que nos ayudara a retirar la cascara de la yuca, posteriormente se somete a un lavado con agua para terminar de eliminar todo rastro de tierra.

Para continuar con el proceso se ralla cada una de las yucas con la finalidad de facilitar la siguiente etapa que consiste en licuar la yuca rallada así se obtendrá partículas más pequeñas y finas, las mismas que nos permitirán aprovechar todo el almidón presente en la muestra; razón por la cual se licua 1Kilogramos de yuca rallada con 2litros de agua.

Se continúa cerniendo el licuado en un recipiente para separar todo el bagazo presente en la muestra del almidón, el licuado obtenido en el recipiente se lo deja reposar de 3 a 4 días en los cuales se sedimentará el almidón, separándose de esta manera la fase líquida de la fase sólida.

Una vez transcurrido este tiempo se procede a desechar la parte líquida presente en el recipiente, se trata de eliminar la mayor parte del agua presente hasta quedarnos con la parte sólida en este caso el almidón con el cuál vamos a trabajar a continuación. Obteniendo un volumen de 600ml.

Una vez separada la fase sólida se procede a medir su pH para conocer la acidez de nuestra materia prima. Esta acidez debe oscilar entre 4 y 5. La muestra presenta una acidez de 4.36 lo que significa que está se encuentra dentro de los parámetros requeridos para continuar con el procedimiento.

Después de haberse comprobado que la muestra es adecuada para trabajar se agregara pequeñas cantidades de Ácido Clorhídrico o ácido muriático como también se lo conoce de grado analítico con una concentración del 37% para generar una hidrólisis ácida la misma que nos ayudara a mejorar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón generando que se rompan los enlaces y generan partículas de menor tamaño. Para ello se agregó un total de 8ml de HCL en 600ml de almidón, de tal manera se desea aumentar la acidez de la muestra por lo cual se pasa de un pH de 4.36 a 1.20.

Para continuar con nuestro proceso de hidrólisis la muestra se la coloca en Erlenmeyer de 250ml para ser llevados a una autoclave para realizar un procedimiento de esterilización llevado a cabo en el Laboratorio Clínico perteneciente a la facultad de Ciencias. Para este método se utilizó una autoclave de marca Tuttnauer en el modelo 2340. Con las variables siguientes, se trabajó con una presión: 15Psi, a 121°C por un periodo de 30 minutos. Una vez transcurrido el tiempo de residencia en la autoclave se espera a que esta termine de despresurizar para sacar de la misma.

Ya que la muestra es retirada se proceder a descender la temperatura hasta llegar a los 20°C, temperatura en la cual se añadirá NaOH al 40% lo que nos permitirá llevar la acidez de nuestra muestra de un valor de 1 a un rango de 4 a 5.

Una vez logrado el pH necesario continuamos con el siguiente paso que es pesar 10g de Levadura comercial de panificación (activa seca Levapan®), la misma que es de tipo *Saccharomyces Cerevisiae*, en conjunto con 2g de Cloruro de amonio, la misma que actúa como activador de la levadura.

Una vez realizado el paso anterior se procede a mezclar de tal manera que la mezcla quede completamente homogénea y bien disuelta para que la levadura se pueda activar y se dé el proceso de fermentación de manera adecuada.

A continuación procedemos a colocar cada una de las muestras en nuestros Erlenmeyer para que sean sellados de tal manera que exista el proceso anaerobio requerido para la fermentación, mientras se coloca una manguera de desfogue del CO<sub>2</sub> en una trampa de gases en este caso se utilizó un vaso de agua. Cabe recalcar que el proceso de fermentación se lo llevo por un periodo de 5 días.

Para continuar una vez transcurrido el periodo de tiempo necesario se coloca la muestra dentro de un balón de 1000ml para proceder con la destilación a una temperatura no superior a los 70 grados que es la temperatura ideal para obtener el etanol requerido.

Obtenido nuestro etanol se procede a medir el grado alcohólico presente en el producto con el afán de conocer la cantidad de alcohol presente. Para esto se utiliza un alcoholímetro de Gay Lussac que es él que nos ayudara a determinar la cantidad de alcohol presente a una temperatura de 20°C.

Una vez conocida la cantidad de alcohol presente se procede a llevar a un rota vapor que es una simulación a escala laboratorio de una destilación azeotrópica, la misma que median diferencia de presiones nos ayudara a eliminar restos de agua existente en nuestra mezcla y de esta manera concentrara la cantidad de alcohol presente.

Después de obtener el producto concentrado, es colocado en una botella ámbar obscuro para ser llevado a un laboratorio certificado y realizar las pruebas necesarias para corroborar que el producto obtenido cumple con los parámetros requeridos.

#### *3.2.4.4 Análisis y aprobación del método elegido.*

De acuerdo a los análisis realizados, de factibilidad económica, y ambientales se determina que el método más adecuado y que cumple con los parámetros necesarios tanto para la obtención de producto como para la aplicación a escala industrial es el método de Hidrólisis ácida del almidón, debido a que el grado de alcohol obtenido en los productos resulta ser mayor en dicho método en su primera destilación con un valor de 40°GL, al igual que cumple con un proceso más amigable con el ambiente y de cierta manera es más económico.

### 3.2.4.5 Análisis Físico químico del Etanol Obtenido

Estos análisis fueron realizados con la finalidad de conocer si el producto obtenido cumple con lo propuesto dentro de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 478:2009 en la misma que se corrobora los valores de los requisitos propuestos tales como contenido de etanol., acidez total, conductividad eléctrica, densidad a 20°C, contenido de cloruros, contenido de agua, contenido de cobre, residuos de evaporación, pH, contenido de desnaturalizantes. Para lo cual se compara se utilizará como base o patrón un etanol anhidro conseguido en el mercado.

A continuación, en la tabla 14-3 se muestran los valores obtenidos mediante pruebas al Etanol obtenido.

**Tabla 14-3** Resultados Etanol de Yuca

Parámetros	Métodos			Especificaciones		Resultados	Unidad de medida
	ASTM	INEN	INTERNO	MIN	MAX		
Contenido de Etanol*	4052		V03 06 01 03-T-66	99.6	-	96.29	% V
Densidad @ 20°C	4052		V03 06 01 03-T-66	-	791.5	806.2	Kg/m <sup>3</sup>
Acidez Total (Ac Acético) *		341	V03 06 01 03-T-67	-	3	0.0	mg/100 ml
Conductividad Eléctrica*	1125		V03 06 01 03-T-64	-	500	130	µS/m
Contenido de Cloruros *	512		V03 06 01 03-T-67	-	32	2.814	mg/l
Contenido de Cobre*	1688			-	0.1	0.00	mg/kg
Contenido de Agua*		E-203	V03 06 01 03-T-65	-	0.3	1.7424	%
Residuo de Evaporación *	38	933		-	5	2.0	mg/100 ml

Fuente: (Dr Edgar Campoverde Lastra PETROECUADOR, 2018)

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.2.5 Operaciones Unitarias para la obtención del Bioetanol.

Dentro de las operaciones que se van a emplear para la obtención del bioetanol son las siguientes:

#### 3.2.5.1 Lavado

Para realizar el lavado de la Yuca se procede a dejar en remojo principalmente para remover toda la tierra o piedras que pueden estar adheridos a la cáscara, de la misma manera este proceso de

lavado nos ayuda a eliminar todo tipo de microorganismo o partícula que posteriormente pueda generar algún tipo de alteración.

El proceso de lavado se utiliza para eliminar las impurezas y la tierra que se encuentra adherida en la cascara de la yuca, para lo cual se utilizan chorros de agua durante las raíces se friccionan entre sí

#### *3.2.5.2 Pelado y Rallado*

La cáscara de la muestra debe ser removida, de tal manera que la yuca puede ser sometida al proceso, el mismo que se puede realizar mediante equipos especializados que facilitaran dicha etapa. Se recomienda el uso de un pelador - rallador cilíndrico; el cilindro está formado de una lámina que posee agujeros en manera de rallo el mismo que nos ayudara a reducir el tamaño de la partícula de las raíces. La yuca se procede a someterse a un proceso de rallado ya que esto permite que la materia se pueda aprovechar de mejor manera, y así optimizar el proceso que se requiere seguir. Al igual que el proceso anterior en esta etapa se puede hacer uso de ciertos tipos de equipos que la ayudarán a cumplir con facilidad.

Durante el proceso de rallado se desea liberar los gránulos de almidón que se encuentran en las fibras de la raíz, con la finalidad de obtener partículas más pequeñas y ayudar a facilitar la obtención de almidón.

#### *3.2.5.3 Molienda*

Es conocida como una de las operaciones unitarias que a igual que el rallado nos permite reducir el tamaño de las partículas con la finalidad de separar las partículas de almidón existentes en la muestra de acuerdo al tamaño de la partícula, debido a que aquí se realiza la extracción del almidón.

#### 3.2.5.4 *Hidrólisis ácida*

Esta reacción se la realiza con ácido clorhídrico HCL a una concentración del 37% o grado analítico como se lo conoce comúnmente, la cual nos ayudara a mejorar la obtención de azúcares fermentables dentro de nuestra muestra.

#### 3.2.5.5 *Maceración*

Una vez obtenida la mezcla y separada todas las partículas se somete a un proceso de maceración que no es más que un proceso de extracción de tipo sólido – líquido que permite extraer los activos de un componente sólido (yuca) en un componente líquido, en este caso se realizara la maceración con ayuda de la temperatura, ya que esto permitirá que el almidón presente en la muestra gracias a la hidrólisis ácida realizada anteriormente se puedan transformar con facilidad en azúcares fermentables y elevar su concentración.

#### 3.2.5.6 *Fermentación*

La fermentación se divide en dos fases: La primera fase llamada “ALE” que trata de una fermentación aerobia la misma que se la realiza de manera controlada en las primeras horas para que la levadura se active de la mejor manera a una temperatura de 18 a 25°C, después pasa por un periodo de tiempo determinado de 5 a 7 días, en los cuales los niveles de acidez deben ser controlados, para después continuar con una fermentación tipo “LAGER” la misma que es anaerobia y permite transformar todo el almidón presente en la muestra en azúcares que posteriormente serán destilados.

#### 3.2.5.7 *Destilación*

La destilación se la realiza a partir de la muestra fermentada, el mismo que se realiza a una temperatura de hasta 75°C en una torre de destilación, para después pasar por una destilación azeotrópica con ayuda de sales ( $CaCl_2$ ) que permitirán romper el punto de azeótropo, la cual nos ayuda a obtener un grado de pureza más elevado.

#### 3.2.5.8 *Deshidratación.*

Utilizamos un proceso de deshidratación por medio de un proceso de separación de compuestos orgánicos de tipo volátil de mezclas acuosas mediante la intervención de evaporación, este método consiste en el paso de la masa a través de una membrana impulsora que genera un vacío mediante la intervención de las presiones parciales. La presión parcial del vapor de agua varía de acuerdo a la concentración de temperatura y presión. Todas estas variables aseguran que se dé a cabo la condensación y se obtenga un producto libre de agua.

#### 3.2.6 *Escalado a nivel Industrial*

Una vez determinado el método indicado para la producción del etanol anhidro se procede a realizar un escalado a nivel industrial para el mismo que nos basaremos en cada uno de los equipos que se requieren para cumplir con cada uno de los subprocesos con la finalidad de diseñar un proceso industrial innovador y rentable.

Es por esta razón que los subprocesos a emplear en el escalado a nivel industrial variaran un poco de los equipos utilizados a nivel laboratorio con la finalidad de diseñar un proceso eficaz. A continuación se definirán cada una de las variables presentes en cada subproceso a nivel industrial.

### 3.2.6.1 Variables del Proceso

En la presente tabla se detalla cada una de las variables a controlar en los procesos a los cuales es sometida la materia prima.

Tabla 3-2 Variables del Proceso

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	SUB VARIABLE	CONCEPTO	EQUIPO O APARATO DE MEDICIÓN	EFECTO EN EL PROCESO	PARÁMETROS
TUBÉRCULO	DEPENDIENTE	Grado de maduración	Cumplimiento con los parámetros organolépticos	Visual	Proceso en el que el fruto adquiere los requerimientos aptos para el consumo	-----
LAVADO	INDEPENDIENTE	Cantidad de tubérculo a eliminar microorganismos	Magnitud de masa inicial	Balanza	Proceso de remoción de cascara y tierra presentes en la muestra.	11 lb o 5kg
PELADO DE MATERIA PRIMA Y RALLADO	INDEPENDIENTE	Cantidad de tubérculo a rallar	Magnitud de masa la cual se reducirá su tamaño	Balanza	Cantidad de fruto preparado para reducir su tamaño	10.5 Lb o 4.77 Kg
MOLIENDA	DEPENDIENTE	Tiempo	Magnitud referente a un periodo en el que se desarrolla una actividad	Cronómetro	Tiempo en el cuál el fruto reduce su tamaño	1min
	INDEPENDIENTE	Cantidad de fruto a macerar	Magnitud de masa la cual se reducirá su tamaño	Balanza	Masa de fruto reducido de tamaño con agua con la finalidad de obtener su almidón	2.2 Lb
MACERACIÓN	DEPENDIENTE	Tiempo	Magnitud referente a un	Cronómetro	Periodo en el cuál se separaran las partículas	24 a 72h

			periodo en el que se desarrolla una actividad		más pequeñas de almidón se transforman en azúcares	
	INDEPENDIENTE	Temperatura	Cantidad de Calor que posee un cuerpo	Termómetro	Temperatura a la cual se elimina todo tipo de microorganismo que posee la muestra.	77°C
		Cantidad de Agua añadida	Magnitud de volumen de agua	Vaso de precipitación de 1L	Volumen de agua añadida que permite que se produzca la reducción de tamaño y el desprendimiento del almidón presente en la muestra	2L
HIDRÓLISIS ÁCIDA	INDEPENDIENTE	Cantidad de HCL	Volumen de Ácido clorhídrico	Pipeta	Volumen de ácido necesario por cada 300ml	5ml
		Cantidad de muestra a hidrolizar	Volumen de sedimentado listo para hidrolizar	Vaso de precipitación	Cantidad de sedimentado a utilizar en el proceso de hidrólisis	300 ml
		pH	Acidez de la muestra	Potenciómetro	Acidez a la cual el almidón presente en la muestra romperá sus cadenas de azúcares	1.5 – 1.9
	DEPENDIENTE	Tiempo	Magnitud referente a un periodo en el que se desarrolla una actividad	Cronómetro	Periodo en el cual se efectúa la esterilización del producto para eliminar todos los microorganismos presentes.	30 min

		Presión	Magnitud de fuerza sobre unidad de superficie	Manómetro	Acción que permite la coagulación de las proteínas que tienen los microorganismos	15 Psi
		Temperatura	Cantidad de Calor que posee un cuerpo	Termómetro	Temperatura a la cual se elimina todo tipo de microorganismo que posee la muestra.	75°C
FERMENTACIÓN “	DEPENDIENTES	Tiempo	Magnitud referente a un periodo en el que se desarrolla una actividad	Cronómetro	Periodo en el cual se proporciona la energía anaeróbica necesaria.	Inicial: 120h a 168h Final: 120h a 168h
		Temperatura	Cantidad de Calor que posee un cuerpo	Termómetro	Temperatura a la cual se activa la levadura a utilizar	Inicial: 18 a 25°C Final: 7 a 12°C
	INDEPENDIENTES	Cantidad de Levadura	Magnitud de masa de levaduras o enzimas	Balanza	Cantidad de Levadura Saccharomyces Cerevisiae enzimas productoras de hidratos de carbono utilizado en 300ml de muestra	10g
		Cantidad de Activadores	Cantidad de activadores utilizados en el proceso	Balanza	Cantidad de NH4Cl que actúa como activador dentro del proceso de fermentación	10g
		pH	Acidez de la muestra	Potenciómetro	Acidez ideal a la cual se forman cadenas cortas de azúcares, las mismas que son altamente fermentables	5.0 – 5.9

DESTILACIÓN	DEPENDIENTE	Tiempo	Magnitud referente a un periodo en el que se desarrolla una actividad	Cronómetro	Periodo en el cual se obtiene todo el etanol presente en la muestra	5h a 72h
		Temperatura	Cantidad de Calor que posee un cuerpo	Termómetro	Temperatura a la cual se obtiene el etanol	68°C – 78°C
	INDEPENDIENTES	Cantidad muestra a destilar	Magnitud de volumen de muestra preparada	Vaso de precipitación	Cantidad de muestra que cumple con todos los parámetros y está lista para ser destilada	500ml
CONCENTRACIÓN DE ETANOL	DEPENDIENTES	Temperatura	Cantidad de vapor emitido a la muestra	Rotavapor	Simula una destilación azeotrópica.	35°C

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.2.7 *Balance de Masa y Energía*

#### 3.2.7.1 *Balance de Masa*

Basándonos en la definición que nos proporciona la Ley de la Conservación de la Materia en la misma que expresa que “los átomos presentes en la materia no se crean ni se destruyen, solamente se transforman”. Y se formula de la siguiente manera:

$$\textit{Ecuación 1 Balance} = \textit{Entrada} + \textit{Salida}$$

Por lo que se tiene que

$$\textit{Ecuación 2 Balance} = \textit{Entrada} + \textit{Salida}$$

Razón por la cual se realizan los cálculos pertinentes para determinar la cantidad de materia que se han transformado durante el proceso efectuado así como la cantidad de átomos que han generado una acumulación.

Cabe tener en cuenta que para dar inicio con el proceso se obtuvo 1000ml de Etanol anhidro. Y se utilizó un total de 5kg de materia prima. Datos con los cuales se procedió a realizar el balance de masa para las operaciones unitarias detalladas en el proceso.

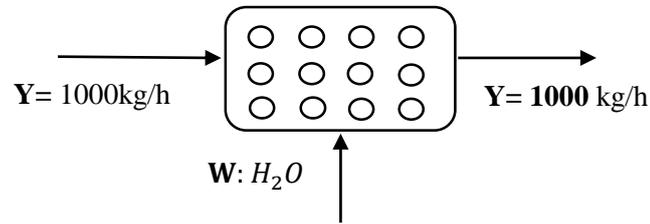
#### **Lavado.**

Para dar inicio a dicha operación se inició con un flujo inicial de 1000kg/h de yuca que fueron sometidos a los procesos de lavado en el cuál se trata de retirar la mayor parte de tierra presente en la muestra, el mismo que nos permitirá retirar todas las impurezas presentes en la muestra.

Determinamos las variables las mismas que son:

**Y:** masa de yuca expresada en (kg/h)

**W:**  $H_2O$  (Kg/h)



### Extracción de cascara (pelado)

Este procedimiento nos ayuda en primer lugar a retirar toda la cascara de la muestra al igual que a reducir el tamaño de la misma, lo cual permitirá una mejor manipulación y obtención del almidón presente en la misma. Una vez realizado el paso anterior se procede con el rallado.

$$F_{s-104} = F_{s-102} (1 - X_{s-102}|^{RCN})$$

$$F_{s-104} = (1000)(1 - 0.075) = 75.00 \text{ kg/h}$$

$$X_{s-103}|^i = \frac{X_{s-102}|^i}{1 - X_{s-102}|^{RCN}}$$

$$Almidon = \frac{X_{s-102}|^{Almidon}}{1 - X_{s-102}|^{RCN}} = \frac{0.33115}{1 - 0.075} = 0.3580$$

$$F_{s-102} = F_{s-103} + F_{s-104}$$

$$F_{s-103} = F_{s-102} - F_{s-104} = 1000 - 75 = 925.00 \frac{kg}{h}$$

Donde:

$F_{s-102}, F_{s-103}, F_{s-104}$  Flujo masico de las Corrientes: S-102, S-103, S-104, [kg/h]

$X_{s-j}|^i$  Fraccion en peso del component I en la corriente j. [ADIM]

**Tabla 15-3** Resultados Balances de masa y energía S-102, S-103, S-104

Magnitud	S-102	S-103	S-104
Flujo de masa total [kg/h]	1000	925	75
Temperatura [k]	298.41	298.41	298.4100
Presión [kpa]	101.325	101.325	101.3250
Densidad [kg/]	1139.90	1152.48	994.6100
Entalpia especifica [J/kg]	0.000	613.981	1067.5710
Capacidad calórica	2535.086	2401.9960	4176.5195
Composición (% masa)			
Almidón	33.1150	35.8000	0.00
Ceniza	5.0598	5.4700	0.00
Fibra	3.3578	3.6300	0.00
Glucosa	2.9600	3.2000	0.00
Otros Sólidos	2.7565	2.9800	0.00
RCN	7.5000	0.0000	100
Agua	45.2510	48.9200	0.00

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

## Lavado

En el proceso de lavado se estima una relación 0.5 litros de agua de lavado por kilogramo de carga de yuca en el equipo de lavado, Retirando un 1% de almidón (fracción soluble), 5% de fibra y 15% de Otros Solidos.

$$F_{s-105} = f_1 \rho_{s-105} F_{s-103}$$

$$F_{s-105} = (0.5)(0.9947)(925) = 460.5 \text{ kg/h}$$

$$x_{s-107}|^i = \frac{x_{s-103}|^i (1 - x_{i.ext})}{1 - \sum x_{s-103}|^i x_{i.ext}}$$

$$x_{s-107}|^{Almidon} = \frac{x_{s-103}|^{Almidon} (1 - X_{ext.Almidon})}{1 - \sum x_{s-103}|^{Almidon}}$$

$$= \frac{(0.358)(1 - 0.01)}{1 - \{(0.358 \times 0.01) + (0.0363 \times 0.05) + (0.0298 \times 0.15)\}} = 0$$

$$x_{s-106}|^i = \frac{x_{s-103}|^i x_{i.ext}}{f_1 + \sum x_{s-103}|^i x_{i.ext}}$$

$$x_{s-106}|^{Almidon} = \frac{x_{s-103}|^{Almidon} x_{Almidon.ext}}{f_1 \rho_{s-103} + \sum x_{s-103}|^{Almidon} x_{Almidon.ext}}$$

$$= \frac{(0.358 \times 0.01)}{(0.5 \times 0.9947) + [(0.358 \times 0.01) + (0.0363 \times 0.05) + (0.0298 \times 0.15)]} = 7.058 \times 10^{-3}$$

$$F_{S-106} = F_{S-105} + F_{S-103} \sum x_{S-103}^i x_{i,ext}$$

$$F_{S-107} = F_{S-103} (1 - \sum X_{S-103}^i X_{i,ext})$$

$$F_{S-106} = 460.5 + 925 (9.865 \times 10^{-3}) = 469.172 \text{ kg/h}$$

$$F_{S-107} = 925(1 - 9.865 \times 10^{-3}) = 915.875 \text{ kg/h}$$

Donde:

$F_{S-105}, F_{S-106}, F_{S-107}$  Flujo de las corrientes S-105, s-106, S-107. [kg/h]

$X_{S-j}^i$  Fracción en peso del componente i en la corriente j.

### Molido de tubérculo

Se puede calcular la potencia necesaria para reducir de tamaño el material. No hay cambios en la composición de las corrientes:

$$P_{T-P4} = \dot{P}_{P1} F_{S-107}$$

$$P_{T-P4} = (0.018)(915.87) = 16.4856 \text{ kW} \rightarrow 22.41 \text{ HP}$$

### Transporte mediante tornillos sin fin

Se necesita calcular la potencia requerida para el proceso de transporte. Se especifican otros parámetros de diseño:

**Tabla 16-3** Resultados dimensionamiento de transportador tornillo sin fin

Parámetro	Variable	Valor	Unidad
Diámetro de canal	$\phi_{P5}$	0.0854	m
Longitud del canal	$L_{P5}$	8	m
Material		Acero al carbón	

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

$$S_{P5} = \dot{S}_{P5} A_{P5} = \frac{\pi \phi_{P5}^2 \dot{S}_{P5}}{4}$$

$$S_{P5} = \frac{\pi(200)(0.0854)^2}{4} = 1.1456 m^3/h$$

$$P_{P5} = \dot{P}_{P5} S_{P5} L_{P5}$$

$$P_{P5} = (0.02 * 1000)(1.1456)(8) = 183.196W \rightarrow 0.2456HP$$

Las corrientes no sufren cambios en su composición.

### Mezclado (P-10)

Se realizan balances de materia y energía entre las dos corrientes entrada (S-134 y S-109) y salida (S-121). En simuladores las recirculaciones son ajustadas por procesos iterativos.

$$\sum F_{entrada} = \sum F_{salida} \quad \text{Ec. 2}$$

$$F_{S-134} + F_{S-109} = F_{S-121}$$

$$F_{S-121} = (892.444) + (915.875) = 1808.319 \text{ kg/h}$$

$$x_{S-121} \Big|_i = \frac{x_{S-134} \Big|_i F_{S-134} + x_{S-109} \Big|_i F_{S-109}}{F_{S-109} + F_{S-134}} \quad \text{Ec.3}$$

$$x_{S-121} \Big|_{Almidón} = \frac{x_{S-134} \Big|_{Almidón} F_{S-134} + x_{S-109} \Big|_{Almidón} F_{S-109}}{F_{S-109} + F_{S-134}} =$$

$$\frac{(0.012336)(892.444) + (0.3579)(915.875)}{1808.319} = 0.1873$$

$$\sum_{Entrada} F_i \dot{H}_i = \sum_{Salida} F_j \dot{H}_j$$

$$F_{S-121} \dot{H}_{S-121} = F_{S-134} \dot{H}_{S-134} + F_{S-109} \dot{H}_{S-109}$$

$$\dot{H}_{S-121} = \frac{F_{S-134} \dot{H}_{S-134} + F_{S-109} \dot{H}_{S-109}}{F_{S-121}} =$$

$$\frac{(892.444)(7818.98) + (915.875)(6480)}{(1808.319)} = 7140.8151 \text{ J/kg}$$

**Tabla 17-3** Resultados balances de masa y energía flujos S-109, S-134, S-121

Magnitud	S-109	S-134	S-121
Flujo de masa total [kg/h]	915.875	892.444	1808.319
Temperatura [K]	313.37	301.28	301.06
Presión [kPa]	101.325	101.325	101.325
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1148.29	1084.59	1117.78
Entalpia especifica [J/kg]	36614.85	6480.00	7140.816
Capacidad calorífica	2405.38	2501.51	2452.82
Composición (% masa)			
Almidón	35.7951	1.2336	18.7983
Ceniza	5.5246	24.5278	14.9030
Fibra	3.4829	19.7035	11.4881
Glucosa	3.2319	8.5343	5.8487
Otros Solidos.	2.5582	14.4726	8.4382
Ácido sulfúrico	0	0.0626	0.0309
Agua	49.4074	31.4657	40.5528

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

## Hidrolisis acida

El proceso de hidrolisis acida se modela como un proceso con una reaccion química la reacción química es la siguiente.



La reacción esta modelada en base a coeficientes molares. La extensión de la reacción es del 80%.

$$x_{S-132} \Big|_{\text{Almidón}} = (1 - \alpha n^{\text{almidon}}) x_{S-112} \Big|_{\text{Almidón}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$x_{S-132} \Big|_{\text{Almidón}} = (1 - (0.8)(1))(0.1763) = 0.035267 \rightarrow 3.5267\%$$

$$x_{S-132} \Big|_{\text{Glucosa}} = \left( 1 + \alpha \frac{n^{\text{glu}}}{n^{\text{alm}}} \right) x_{S-112} \Big|_{\text{Almidón}}$$

$$x_{S-132} \Big|_{\text{Glucosa}} = \left( 1 + 0.8 \frac{1.89}{1} \right) (0.1763) = 0.321663 \rightarrow 36.16\%$$

Donde:

$\alpha$  Extensión de la reacción química. [ADIM]

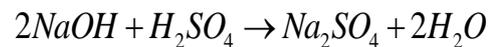
$n^i$  Coeficiente estequiométrico de la reacción del componente i. v

### Filtración

Como el proceso se asemeja en relación al balance de masa y energía a los mostrados en el proceso de lavado, se aplican las mismas ecuaciones y el mismo procedimiento. Los resultados del balance se encuentran en el reporte de balance de masa y energía del proceso.

### Neutralización

La operación de neutralización usa las mismas ecuaciones y el mismo procedimiento que la hidrólisis ácida con la diferencia que la ecuación de reacción química es la siguiente:



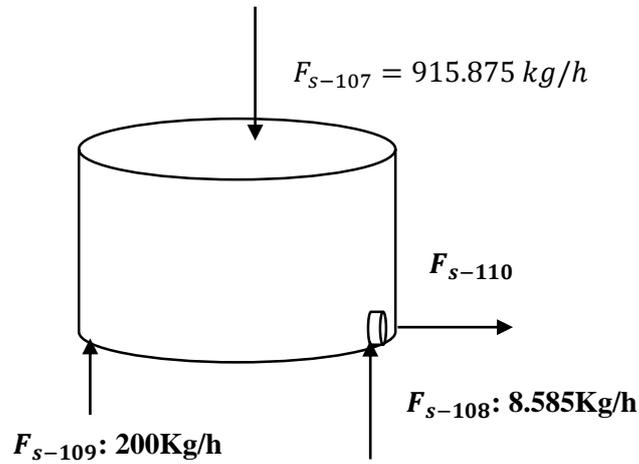
$$x_{S-132} \Big|_{H_2SO_4} = (1 - \alpha n^{H_2SO_4}) x_{S-112} \Big|_{H_2SO_4} \quad \text{Ec. 2}$$

$$x_{S-125} \Big|_{H_2SO_4} = (1 - (1)(0.9979))(0.02144) = 4.50 \times 10^{-5} \rightarrow 0.0045\% \rightarrow pH = 4.7129$$

### Macerado.

En esta etapa se procederá a colocar la muestra de yuca molida con agua, así como ácido clorhídrico (HCL) para producir una hidrólisis ácida la misma que nos permitirá que las moléculas de almidón presente en la muestra se transformen en azúcares fermentables.

$$F_{s-107} = 915.875 \text{ kg/h}$$



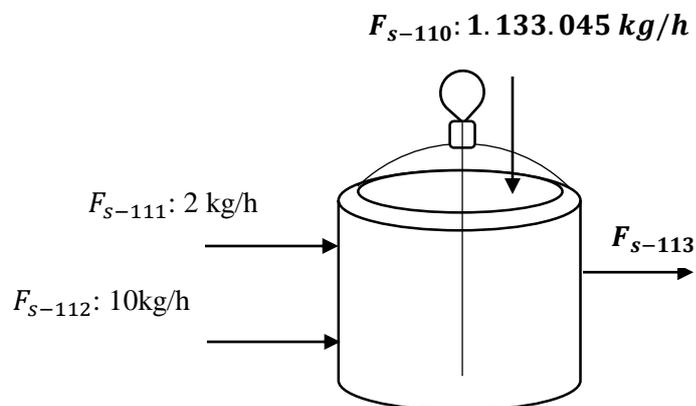
$$F_{s-111}: F_{s-109} + F_{s-107} + F_{s-108}$$

$$F_{s-110}: 915.875 \text{ kg/h} + 200 \text{ kg/h} + 17.17 \text{ Kg/h}$$

$$F_{s-110}: 1.133.045 \text{ kg/h}$$

### Fermentación.

En esta etapa se procede a transformar todas las cadenas cortas de azúcares fermentables presentes en la muestra la misma que en un proceso futuro será el etanol deseado, mediante activadores como él ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) cloruro de amonio, y levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*).

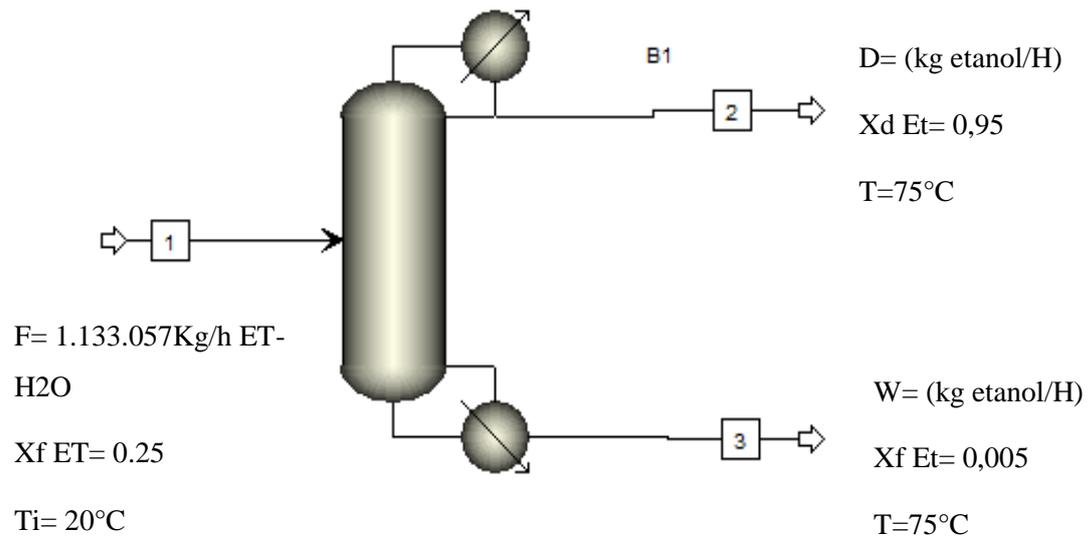


$$F_{S-113} = F_{S-110} + F_{S-111} + F_{S-112}$$

$$F_{S-113} = 1.133.045 \text{ kg/h} + 2 \text{ kg/h} + 10 \text{ kg/h}$$

$$F_{S-113} = 1.133.057 \text{ kg/h}$$

### Destilación.



$$F = D + W$$

Calculo de flujos

Flujo alimentación

$$\dot{F} = \frac{M}{M_F}$$

$$\dot{F} = \frac{1.133.057 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{47.26 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}$$

$$\dot{F} = 23.97 \text{ kmol/h}$$

Flujo destilado (etanol)

$$\dot{D} = \dot{F} \times \frac{X_F - X_W}{X_D - X_W}$$

$$\dot{D} = 23,97 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \times \frac{0.45 - 0.05}{0.95 - 0.05}$$

$$\dot{D} = 10.653 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{D} = 10.653 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \times 41.86 \frac{\text{Kg}}{\text{mol}}$$

$$\dot{D} = 445.94 \text{ kg/h}$$

Flujo de fondo

$$W = F - D$$

$$W = 23.97 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} - 10.94 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$W = 13.03 \text{ kmol/h}$$

$$W = 13,03 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \times 18.07 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$W = 235.452 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

### 3.2.7.2 Cálculos de Ingeniería

Para realizar los cálculos de ingeniería se utilizó el software SuperPro Designer v9.0 mediante el cual se obtuvieron los siguientes resultados. En la tabla 16-3 se detallan los dimensionamientos de caja genérica, lavadora y trituradora.

**Tabla 18-3** Dimensionamiento de Equipos Caja genérica, lavadora y trituradora

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Rendimiento nominal
Caja Genérica	GBX-101	0.50	0.10	CS	-
Lavadora (Flujo a granel)	WSH-101	0.50	0.10	CS	925.00kg
Trituradora	GR-101	0.50	0.10	CS	915.87kg

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

A continuación se detalla los dimensionamientos de la banda transportadora y bombas a utilizar en el proceso

**Tabla 19-3** Dimensionamiento de Banda transportadora y Bombas

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Rendimiento nominal	Diámetro de tubería	Longitud de tubería	Potencia
Transportador de tornillo	SC-101	0.00	0.10	CS	1.14m <sup>3</sup> /h	8,54cm	15.00m	-
Bomba de Engranajes	GP-101	1.50	0.10	SS316	-	-	-	160.80W

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

En la tabla 20-3 se dan a conocer los valores de reactores agitados a utilizar.

**Tabla 20-3** Dimensionamiento Reactores agitados

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Volumen	Diámetro	Altura	Presión de diseño
Reactor agitador	R-101	0.30	0.10	SS316	$3.84m^3$	1.25m	3.13m	151.950Pa
Reactor agitador 2	R-102	0.30	0.10	SS316	$2.30m^3$	1.05m	2.63m	151.0950Pa
Reactor agitador 4	R-104	0.30	0.10	SS316	$3.18m^3$	1.17m	2.94m	151.0950Pa

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Los dimensionamientos de los mezcladores se detallan en la tabla 21-3.

**Tabla 21-3** Dimensionamiento Mezcladores

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Rendimiento nominal
Mezclador	MX-101	0.50	0.10	CS	1.921,58kg
Mezclador 2	MX-102	0.50	0.10	CS	2.733.82kg
Mezclador 3	MX-103	0.50	0.10	CS	1.143,88kg
Mezclador 4	MX-104	0.50	0.10	CS	1,808.32kg
Mezclador 5	MX-105	0.50	0.10	CS	2,995.28kg

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Los valores de dimensionamiento de los intercambiadores de calor, se detallan a continuación en la tabla 22-3, y tanques de fondo plano en la tabla 23-3

**Tabla 22-3** Dimensionamiento Intercambiadores de calor

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Área de transferencia de calor
Intercambiador de Calor	HX-101	0.50	0.10	CS	0.19 m <sup>2</sup>
Intercambiador de Calor 2	HX-102	0.50	0.10	CS	8.07m <sup>2</sup>
Intercambiador de Calor 3	HX-103	0.50	0.10	CS	9.40 m <sup>2</sup>
Intercambiador de Calor 4	HX-104	0.50	0.10	CS	0.36 m <sup>2</sup>
Intercambiador de Calor 5	HX-105	0.50	0.10	CS	0.10 m <sup>2</sup>

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 23-3** Dimensionamiento tanques

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Volumen	Diámetro	Altura	Presión de diseño
Tanque de fondo plano	V-101	0.50	0.10	SS316	25.43m <sup>3</sup>	2.21m	6.63m	151.950Pa
Tanque de fondo plano 2	V-102	0.50	0.10	SS316	27.32m <sup>3</sup>	2.26m	6.79m	151.950Pa
Tanque de fondo plano 3	V-103	0.50	0.10	SS316	9.10m <sup>3</sup>	1.57mm	4.71m	151.950Pa

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

A continuación en la tabla 24-3 se dan a conocer los valores del dimensionamiento de los filtros de cinturón

**Tabla 24-3** Dimensionamiento Filtros de cinturón

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor mantenimiento	de	Material Construcción	de	Ancho de correa
Filtro de cinturón	BF-101	0.50	0.10		CS		1.46m
Filtro de cinturón 2	BF-101	0.50	0.10		CS		0.66m

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Los dimensionamientos de los divisores de flujo se dan a conocer en la tabla 25-3.

**Tabla 25-3** Dimensionamiento Divisor de flujos

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor mantenimiento	de	Material Construcción	de	Rendimiento nominal
Divisor de flujo	FSP-101	0,50	0,10		CS		991.60kg/h
Divisor de flujo 2	FSP-102	0,50	0,10		CS		2,995.28kg/h
Divisor de flujo 3	FSP-103	0,50	0,10		CS		449.29kg/h

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

El detalle de los dimensionamientos está especificados en la tabla 26-3

**Tabla 26-3** Dimensionamiento Fermentadores

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Volumen	Diámetro	Altura	Presión de diseño
Fermentador	FR-101	0.30	0.10	SS316	9.55m <sup>3</sup>	1.59m	4.78m	151.950Pa
Fermentador de semillas	SFR-101	0.30	0.10	SS316	0.72m <sup>3</sup>	0.67m	2.02m	151.950Pa
Fermentador de semillas 2	SFR-102	0.30	0.10	SS316	2.88m <sup>3</sup>	1.07m	3.21m	151.950Pa

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Las columnas de destilación y sus detalles se especifican en la tabla 27-3

**Tabla 27-3** Dimensionamiento Columnas de destilación

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Presión de diseño	N <sup>a</sup> actual de etapas	Altura de Columna	Diámetro de altura
Columna de destilación	C-101	0.00	0.10	CS	150.000Pa	14	5.60m	0.33m
Columna de destilación 2	C-102	0.00	0.10	CS	150.000Pa	14	5.60m	0.19m

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

Para la deshidratación de la muestra en el proceso se detalla en el 28-3

**Tabla 28-3** Dimensionamiento Columna GAC

Equipo	Código	Factor de Instalación	Factor de mantenimiento	Material de Construcción	Altura de cama	Altura de columna	Diámetro de columna	Volumen de cama	Volumen de la columna
Columna GAC	GAC-101	0.30	0.10	CS	1.01m	2.02m	1.53m	1.85m <sup>3</sup>	3.69m <sup>3</sup>

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.3 Proceso de producción

El proceso seleccionado para la producción de etanol a partir de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es un proceso tipo Batch, debido a que la muestra a destilar deberá cumplir con el proceso de fermentación requerida, razón por la cual se toman en cuenta estos detalles para el diseño de dicho proceso.

#### 3.3.1 *Materia prima, reactivos e insumos.*

Para el proceso de obtención de Etanol a partir de yuca a nivel industrial se requiere la siguiente lista de materia prima, reactivos e insumos.

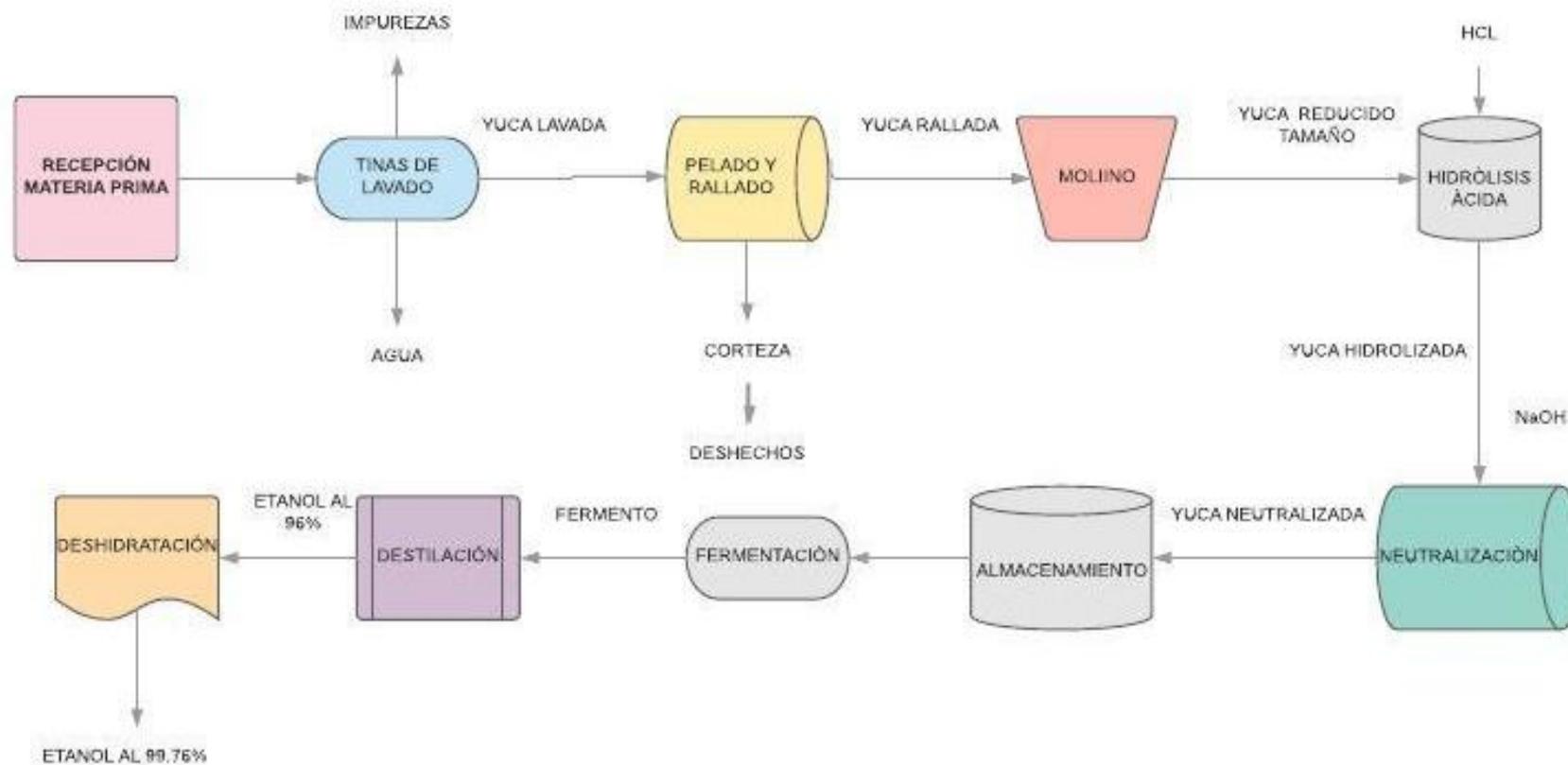
**Tabla 29-3** Materia Prima, reactivos e insumos

Reactivos	Ácido muriático	Conocido también como ácido clorhídrico con la finalidad de realizar la hidrólisis ácida de la muestra
	Hidróxido de sodio	Se lo utiliza con la finalidad de neutralizar la muestra.
	Saccharomyces Cerevisae (Levadura)	Este reactivo es utilizado en la etapa de fermentación en el proceso
	Agua Destilada	Utilizada para realizar el proceso de lavado de la muestra y sedimentación
	Cloruro de Amonio	Es un activador de las levaduras que nos permite llevar a cabo el proceso de fermentación de mejor manera
Materia Prima	Yuca	La materia prima utilizada proviene la provincia de los Ríos específicamente de las ciudades de Quevedo y Valencia
Insumos	Envases (Ámbar o Plásticos)	Utilizadas para envasar el producto obtenido

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

3.3.2 Diagrama del proceso para la obtención de Etanol a partir de yuca.



### 3.3.3 *Descripción del diagrama*

#### 3.3.3.1 *Recepción de materia prima*

La yuca es receptada en un tanque de acero inoxidable, con el fin de revisar si está cumple con los estándares necesarios para dar inicio con el proceso.

#### 3.3.3.2 *Lavado*

Una vez que la materia prima a cumplido con los estándares mencionados anteriormente, se procede a llevar a las tinas de lavado en las cuales se retira todos los microorganismos y tierra que este tubérculo posee.

#### 3.3.3.3 *Pelado y Rallado*

Ya que la muestra ha sido lavada, se procede a retirar la corteza de cada una de ellas y se procede a rallar este proceso nos ayuda a disminuir el tamaño de la partícula, el mismo que nos será de gran utilidad en la siguiente etapa del proceso.

#### 3.3.3.4 *Molienda*

En este proceso al igual que el anterior se lo realiza con la finalidad de que las partículas de gran tamaño disminuyan y se pueda obtener una partícula que reaccione con mayor facilidad con los reactivos.

#### 3.3.3.5 *Maceración e Hidrólisis Ácida*

Para continuar con las etapas del proceso a las partículas sedimentadas se lleva a cabo un proceso de hidrólisis ácida en las cuales se fracturan las partículas grandes de almidón y se transforman en cadenas pequeñas de azúcares fermentables. Con la ayuda de ácido clorhídrico a una concentración del 37%.

### 3.3.3.6 Fermentación

La etapa de fermentación inicia con la adición de Levaduras (*Saccharomyces Cerevisiae*) con la ayuda de un activador que en este caso se utiliza Cloruro de amonio, a continuación se la realiza en un periodo de 14 días de los cuales 7 días son en estado aerobio para continuar con una siguiente fermentación de los próximos 7 días en estado anaerobio.

### 3.3.3.7 Destilación

La destilación del proceso se lo realiza a un intervalo de temperatura de 60°C a 72°C temperatura ideal para la obtención del Etanol en estado de mezcla azeotrópica con agua.

### 3.3.3.8 Concentración y Deshidratación del Etanol.

El proceso de deshidratación se lo realiza en una torre de destilación de tipo GAC la misma que consta de una cama de carbón activado granular, en la cual se procede a pasar la mezcla azeotrópica de agua y etanol, en la que ingresa una corriente de aire que atrapa las moléculas de agua y las elimina del etanol. Obteniendo así un etanol más puro.

## 3.4 Propuesta de diseño

### 3.4.1 Descripción del proceso

El diseño posee un proceso continuo para la obtención de etanol, con un total de 7920 horas de tiempo de operación disponible anual. Tras un análisis del esquema básico de las líneas de producción de etanol a partir de otras fuentes de biomasa como: maíz, papa, caña de azúcar, remolacha, soja, etc. Se encuentra que el esquema base para el proceso se puede definir en las siguientes secciones.

**Tabla 30-3** Descripción etapas diseño del proceso

Sección	Descripción	Cc
Pre-tratamiento	En esta sección se da los tratamientos al material (tubérculos) que son extraídos de los cultivos para al final obtener una solución que en mayor parte están compuestas por glucosa, almidón y agua. Operaciones de transporte, extracción de cascara, lavado, molido, filtrado, hidrolizado ácido para	Naranja

	desdoblar las moléculas de almidón en monómeros de glucosa	
Fermentación	Una vez desdoblada la mayor parte del almidón en glucosa es necesario convertirla en etanol, usando cultivos de fermento y fermentación aerobia. Este proceso requiere de transferencia de calor tanto para calentar o enfriar las corrientes de operación. Al final se obtiene una mezcla con una composición mayor en: glucosa, etanol y agua.	Azul
Separación	La mezcla que contiene etanol en un porcentaje bajo debe ser concentrada para obtener etanol de alto grado de pureza, para ello se empleara columnas de destilación y un proceso de deshidratación mediante adsorción de humedad con aire. Al final la mezcla tendrá como únicos componentes etanol y agua, teniendo un porcentaje en peso de etanol superior al 99%.	Verde

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.5 Requerimientos de tecnología, maquinaria y equipos

En la tabla 31-3 se detalla cada uno de los requerimientos tecnológicos, maquinarias y equipos para la obtención de etanol.

**Tabla 31-3** Requerimientos Maquinaria

Equipo	Detalles	Valor
Caja Genérica	Rendimiento nominal	1000kg
Lavadora (Flujo a granel)	Rendimiento nominal	925kg
Triturador	Rendimiento nominal	915.87kg
Transportador de tornillo	Diámetro de tubería Longitud de tubería Rendimiento nominal	8.54cm 15m 1.14m <sup>3</sup> /h
Bomba de Engranajes	Potencia	160.80 Vatios
Reactor agitador	Volumen Diámetro Altura Presión de diseño	3.84m <sup>3</sup> 1.25m 3.13m 151.950Pa
Mezclador	Rendimiento nominal	1.921.58kg/h
Intercambiador de Calor	Área de transferencia	0.19m <sup>2</sup>
Tanque de fondo plano	Volumen Diámetro Altura Presión de diseño	25.43m <sup>3</sup> 2.21m 6.63m 151.950Pa
Filtro de cinturón	Ancho de correa	1.46m
Divisor de flujo	Rendimiento nominal	449.29kg/h
Fermentador	Volumen Diámetro Altura Presión de diseño	0.72m <sup>3</sup> 0.67m 2.02m 151.959Pa

Columna de destilación	Presión de diseño N° actual de etapas Altura de columna Diámetro de la columna	150.000Pa 14 5.60m 0.33m
------------------------	---	-----------------------------------

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.6 Costos de Producción

#### 3.6.1 Costos de equipos

A continuación en la tabla 32-3 se detalla cada uno de los costos que tendrán los equipos a utilizarse en el proceso; cabe recalcar que los costos manejados en este análisis económico fueron tomados de la base de datos del software SuperPro Desing v9.0 los mismos que se basan en valores internacionales.

**Tabla 32-3** Costo de equipos requeridos

Equipo	Nombre	Cantidad	Costo (\$)
Triturador Capacidad: 915.87kg/h	GR-101	1	82.000\$
Transportador de tornillo Longitud de tubería: 15m	SC-101	1	2.000\$
Bomba de Engranajes Potencia 160.80 Watt	GP-101	1	1.000\$
Reactor agitador Volumen: 3.84m <sup>3</sup>	R-101	1	680.000\$
Intercambiador de Calor Área: 0.19m <sup>2</sup>	HX-101	1	8.000\$
Tanque de fondo plano Volumen: 25.43m <sup>3</sup>	V-101	1	43.000\$
Filtro de cinturón Ancho: 1.46m	BF-101	1	273.000\$
Reactor agitador Volumen: 2.30m <sup>3</sup>	R-102	1	634.000\$
Filtro de cinturón Ancho: 0.66m	BF-102	1	272.000\$
Reactor agitador Volumen: 3.18m <sup>3</sup>	R-104	1	663.000\$
Intercambiador de Calor Área: 8.07m <sup>2</sup>	HX-102	1	29.000\$
Intercambiador de Calor Área: 9.40m <sup>2</sup>	HX-103	1	32.000\$
Fermentador Volumen: 9.55m <sup>3</sup>	FR-101	1	946.000\$
Fermentador de semillas Volumen: 0.72m <sup>3</sup>	SFR-101	1	657.000\$

Fermentador de semillas Volumen: 2.88m <sup>3</sup>	SFR-102	1	799.000\$
Compresor centrifugo Potencia: 16078.96Watt	G-101	1	78.000\$
Tanque de fondo plano Volumen: 27.32m <sup>3</sup>	V-102	1	46.000\$
Intercambiador de Calor Área: 0.36m <sup>2</sup>	HX-104	1	8.000\$
Columna de destilación Volumen: 0.47m <sup>3</sup>	C-101	1	19.000\$
Columna de destilación Volumen: 0.16m <sup>3</sup>	C-102	1	18.000\$
Columna GAC Volumen 3.69m <sup>3</sup>	GAC-101	1	160.000\$
Tanque de fondo plano Volumen: 9.10m <sup>3</sup>	V-103	1	33.000\$
Intercambiador de Calor Área: 0.10m <sup>2</sup>	HX-105	1	8.000\$
Equipo no enlistado			1.373.000\$
Total			6.864.000\$

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.6.2 Informe de evaluación económica

En la tabla 33-3 se detalla el informe de evaluación económica en el que se da a conocer el monto de inversión total de capital así como costos y tiempo de recuperación de capital.

**Tabla 33-3** Informe de evaluación económica

Total de Inversión de capital	43.273.000\$
Inversión de capital con cargo a este proyecto	43.273.000\$
Costo operacional	3.184.000\$
Costo operativo neto	3.142.563\$
Los ingresos	3.471.000\$/yr
Coste base tasa anual	2.124.500kgUPRF/yr
Costo de producción unitaria	1.50\$/kg UPRF
Costo de producción unitaria neta	1.50\$/kg UPRF
Ingresos de producción unitaria	1.63\$/kg UPRF
Margen Bruto	8.25%
Retorno de inversión	9.39%
Tiempo de retribución	10 años
IRR (después de impuestos)	2.89%
VAN (a 7.0% de interés)	-8.375.000\$

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.6.3 Costo producción 1 Litro de Bioetanol

En la tabla 34-3 se detalla en costo de producción para 1 litro de etanol producido en laboratorio.

**Tabla 34-3** Costo producción 1Litro

Materia Prima	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Yuca	5	Kg	0,50	2.50
<b>ADITIVOS</b>				
Levadura	0,2	Kg	3,75	0,75
HCl	0,08	L	10,00	0,80
NH <sub>4</sub> CL	0,075	Kg	9,80	0,735
NaOH	0,02	Kg	38	0,76
<b>INSUMOS</b>				
Botellas ámbar	1	Unidad	1,35	1,35
<b>TOTAL</b>				<b>6,895</b>

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.6.4 Resumen estimado de capital fijo.

Dentro de él resumen estimado de capital fijo se detallan costos varios de instalación, construcción y gastos que infieren en el diseño detallado en la tabla 35-3.

**Tabla 35-3** Resumen estimado de capital fijo

<b>Costo directo total de la planta (TPDC) (costo físico)</b>	
1 Costo de compra de equipos	6.864.000
2 Instalación	2.506.000
3 Tubería del proceso	2.402.000
4 Instrumentación	2.746.000
5 Aislamiento	206.000
6 Electricidad	686.000
7 Edificios	3.089.000
8 Mejoramiento del patio	1.030.000
9 Instalaciones auxiliares	2.746.000
<b>TPDC</b>	<b>22.273.000</b>
<b>Costo indirecto total de la planta (TPIC)</b>	
10 Ingeniería	5.568.000
11 Construcción	7.796.000
<b>TPIC</b>	<b>13.364.000</b>
<b>Costo total de la planta (TPC TPDC+TPIC)</b>	
<b>TPC</b>	<b>35.637.000</b>
<b>Honorarios y contingencias de contratistas (CFC)</b>	
12 Honorarios de los contratistas	1.782.000
13 Contingencia	3.564.000
<b>CFC 12+13</b>	<b>5.346.000</b>

Costo directo de capital fijo (DFC=TPC+CFC)	
<b>DFC</b>	<b>40.983.000</b>

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.6.5 Resumen del proceso de costos de materiales

Dentro de costos de producción como se detalla en la tabla 36-3 se da a conocer el costo de cada uno de los materiales que interfieren dentro del proceso.

**Tabla 36-3** Resumen del proceso de costos de materiales

Material al granel	Costo unitario(\$)	Cantidad anual	Unidad	Costo anual(\$)	%
Air	0.000	3.613.152	Kg	0	0.00
Yuca	0.180	7.326.000	Kg	1.318.680	87.21
RCN	0.000	594.000	Kg	0	0.00
Agua	0.500	17.064	M3 (SPT)	8.532	0.56
Solución A	0.038	1.697.628	Kg	63.998	4.23
Vapor	0.000	3.960.000	Kg	0	0.00
Solución C	0.058	2.070.794	Kg	120.931	8.00
<b>Total</b>				<b>1.512.142</b>	<b>100.00</b>

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.6.6 Resumen del proceso de costos de servicio públicos

A continuación en la tabla 37-3 se da a conocer los costos de cada uno de los servicios públicos que se reportan para el siguiente estado.

**Tabla 37-3** Resumen del proceso de costos de servicios públicos

Servicios públicos	Costo unitario (\$)	Cantidad anual	Referencia unidades	Costo anual	%
Potencia	0.100	1.522.951	kW-h	152.296	28.02
Vapor	12.00	24.069	MT	288.824	49.35
Agua de enfriamiento	0.050	2.171.985	MT	108.598	18.56
Agua fría	0.400	88.893	MT	35.557	6.08
<b>Total</b>				<b>543.462</b>	<b>100.00</b>

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

### 3.6.7 Costos de operación anual

En la siguiente tabla se describe el costo de operación anual

**Tabla 38-3** Costo de operación anual

Costo del producto	\$	%
Materias primas	1.512.000	47.49
Dependiente del trabajo	551.000	17.29
Tratamiento de residuos/ disposición	0	0.00
Utilidades	585.000	18.38
Transporte	536.000	16.84
Varios	0	0.00
Publicidad/ venta	0	0.00
Corrientes reales	0	0.00
Desecho de producto fallido	0	0.00
<b>Total</b>	<b>3.184.000</b>	<b>100</b>

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 39-3** análisis de rentabilidad

A Capital fijo directo	40.983.000\$
B Capital de trabajo	241.000\$
C Costes iniciales	2.049.000\$
D R&D inicial	0\$
E Regalías por adelantado	0\$
F Inversión total	43.373.000\$
G Inversión cargada a este proyecto	43.273.000\$
H Tasas de ingresos/ ahorro	
S-154 (Ingreso principal)	694.146 gal (SPT)/ yr
I, ingresos /precio de ahorro	
S-154 (Ingreso principal)	5.00\$/GAL(SPT)
J Ingresos/ Ahorros	
S-154 (Ingreso principal)	3.470.732\$/año
Ingresos totales	3.470.732\$/año
Ahorros totales	0\$/año
K Costo de operación anual (AOC)	
Costo de operación anual actual	3.184.000\$/año
Costo de operación anual neta	3.184.000\$/año
L Ingresos/ Costo producción unitario	
Costo de producción unitaria	1.50\$/kg UPRF
Costo de producción unitaria neto	1.50\$/kg UPRF
Ingresos de producción unitaria	1.63\$/kg UPRF
M Beneficio bruto (J-K)	286.000\$/año
N Impuestos (40%)	115.000\$/año
O, Beneficio neto (M-N + depreciación)	4.065.000\$/año
Margen Bruto	8.25%
Retorno de la inversión	9.39%
<b>Tiempo de retribución</b>	<b>10.64 año</b>

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 40-3** Análisis de Flujo de caja

Año	Inversión de Capital	Ingresos de ventas	Costos de operación	Beneficio bruto	Depreciación	Renta gravable	impuestos	Beneficio neto	Flujo de caja neto
1	-12,295.000	0	0	0	0	0	0	0	-12,295.000
2	-16,393.000	0	0	0	0	0	0	0	-16,393.000
3	-12,536.000	578.000	990.000	-411.000	3,893.000	0	0	3,482.000	-9,053.000
4	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
5	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
6	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
7	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
8	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
9	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
10	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
11	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
12	0	3,471.000	3.184.000	286.000	3,893.000	286.000	115.000	4,065.000	4,065.000
13	0	3,471.000	-709.000	4,180.000	0	4,180.000	1,672.000	2,508.000	2,508.000
14	0	3,471.000	-709.000	4,180.000	0	4,180.000	1,672.000	2,508.000	2,508.000
15	2,290.000	3,471.000	-709.000	4,180.000	0	4,180.000	1,672.000	2,508.000	4,798.000

Fuente: SuperPro Designer

Realizado por: TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Tabla 41-3** Desglose del desembolso del capital

Año	Capital fijo directo	Capital de trabajo	Costes iniciales	Total
1	-12,294.793	0	0	-12,294.793
2	-16,393.057	0	0	-16,393.057
3	-12,294.000	-240,730	-2,049.132	-12,535.523
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	2,049.132	-240,730	0	2,289.862

**Realizado por:** TIPANTASIG, Eliana. 2018

**Fuente:** SuperPro Designer

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el proceso de producción de etanol a partir de yuca se inició con un muestreo de la materia prima en el cuál se obtuvo los resultados de caracterización físico química, estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Bromatología perteneciente a la Escuela de Nutrición y Dietética de la Escuela Superior politécnica de Chimborazo determinando lo siguiente: Humedad de la muestra 4.8%, Azúcares Reductores 0.55%, Fibra 0,031%, Cenizas 0.036%, Almidón 3.5%. Determinando la muestra apta para continuar con el proceso.

Mediante los ensayos de laboratorio se realizaron diversas formulaciones en las cuales se efectuaron detalladamente cada uno de los pasos para conocer y determinar la formulación idónea para la obtención del etanol. En la primera formulación (Tratamiento de almidón de yuca) en el cuál se requería una cantidad importante de ácido clorhídrico (ácido muriático) en una relación 1:10 eso quiere decir que por cada 10g de almidón de yuca se utilizar 100ml de ácido clorhídrico.

Lo que significa que para tratar 1Kg de almidón de yuca se requerirá se requerirá 9.08 L de ácido, cabe recalcar que para hacer uso de ácido clorhídrico dentro de un proceso industrial hay que tener en cuenta las medidas de seguridad para manejo de cada ácido, y las tuberías que se utilizara para el desecho de los mismos, debido a su alta toxicidad y peligrosidad, al igual que el grado alcohólico obtenido de la muestra fue de 17°C; razón por la cual se descarta el uso de este método.

Mientras que para el segundo método utilizado (Hidrólisis ácida), en el cuál partimos de la utilización de materia prima con imperfectos que es un punto a favor de este método debido a que no se compromete materia prima que puede ser aprovechada de diversas maneras.

A nivel de laboratorio se utilizó 5kg de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) para la obtención de 1 litro de etanol, por tal motivo se dispone de un flujo inicial de 1000kg para un proceso industrial.

Los insumos a emplearse en el este método son ácido clorhídrico al 37%, hidróxido de sodio al 40% Levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*), Cloruro de Amonio, mediante el proceso de hidrólisis ácida a la cual es sometida la muestra a 121°C con una presión de 15Psi por un intervalo de 30 minutos se logra obtener una gran cantidad de azúcares fermentables, debido a la ruptura de las cadenas de almidón.

Razón por la cual mediante destilación se obtiene un producto inicial de 40°GL, para posteriormente mediante un proceso de destilación azeotrópica se logra romper el punto azeótropo entre el agua y etanol logrando así concentrar la muestra hasta 96.29°GL con una densidad a 20°C de 806.2 Kg/m<sup>3</sup>, con un valor de acidez de 0.0 mg/100ml, una conductividad eléctrica de 130 μS/m, contenido de cloruros de 2.814 mg/l, contenido de cobre de 0.00mg/kg, un residuo de evaporación de 2.0 mg/100ml. Todos estos parámetros están dentro de las especificaciones.

Mientras que el valor de contenido de agua en la muestra es de 1.7424% siendo lo ideal según los parámetros hasta un valor máximo de 0.3%, esto nos hace referencia a una falencia en el método de deshidratación utilizado.

Por tal motivo en el diseño de proceso propuesto se enfoca en una optimización de dicha etapa para obtener un etanol con el 99.77% de pureza y un contenido agua dentro de los parámetros requeridos.

## CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización físico química de la yuca ; obteniéndose los siguientes resultados: 4.8%, azúcares reductores con un porcentaje de 0.55%, fibra con un porcentaje de 0,31%, cenizas con un porcentaje de 0.036% y almidón con un porcentaje de 3.5%, corroborando que tiene almidón para transformar en azúcares suficientes para obtener etanol por fermentación
- Con una base de cálculo de 1000kg de materia prima se efectúa los cálculos de ingeniería a través de los balances de masa para cada etapa obteniendo un destilado de 268.26kg/h con una pureza de 99.76%. Con el bioetanol obtenido se realizó una mezcla combustible la cual se comparó con un biocombustible comercial dando como resultado un nivel de contenido de agua 1.7424 kg/m<sup>3</sup> la cual es más elevado al parámetro que cumple el combustible (Ecopaís).
- Mediante ensayos llevados a cabo en el laboratorio se validó el proceso de obtención de bioetanol a partir de yuca, obteniendo como resultado un producto inicial de 40°GL, que posteriormente por medio de un proceso de deshidratación se llega a obtener 96.29°GL. Debido a los resultados obtenidos en laboratorio se comprueba la factibilidad técnica del diseño propuesto obteniendo un bioetanol con el 99.77% de pureza y un rendimiento del 27%, no obstante mediante el análisis económico se demuestra que la implementación del diseño no es factible debido a que la recuperación del capital será de 10.64 años.
- Se diseñó el proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de yuca. Mediante la utilización del software SuperPro Desing v9.0 Este proceso está dividido en tres etapas: pre-tratamiento, fermentación y etapa de Separación, la misma que consta de: destilación y deshidratación.

## **RECOMENDACIONES**

- Para obtener un bioetanol de pureza adecuada, que cumpla con los parámetros requeridos se recomienda el uso de un proceso de deshidratación óptimo, sea el caso de torres de destilación de tamices moleculares, que trabajan con catalizadores como zeolitas, torres GAC (carbón granular activado)
- Debido al bajo rendimiento del proceso (27%) y a su alta cantidad de uso de ácidos y bases corrosivas, se recomienda el estudio de métodos enzimáticos.
- Una vez conocido el valor a invertir en el proceso de obtención de bioetanol, sabiendo que la calidad de etanol obtenida es buena, la misma no justifica el valor a invertir, razón por la cual no se recomienda la implementación de la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

**Abril, Alejandro y Navarro, Enrique.** Definición Biomasa. *Etanol a Partir de Biomasa Lignocelulósica*. Valencia : Aleta Ediciones, 2012, págs. 14-26.

**Anderson Clayton & Co. S.A., y otros.** NMX-F-312-1978 DETERMINACIÓN DE REDUCTORES DIRECTOS Y TOTALES E ALIMENTOS. [En línea] [Citado el: 30 de Octubre de 2018.] <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-312-1978.PDF>.

**AOAC Official Methods of Analysis.** AOAC Official Method 991.43. [En línea] [Citado el: 30 de Octubre de 2018.]

[https://acnfp.food.gov.uk/sites/default/files/mnt/drupal\\_data/sources/files/multimedia/pdfs/anne\\_xg.pdf](https://acnfp.food.gov.uk/sites/default/files/mnt/drupal_data/sources/files/multimedia/pdfs/anne_xg.pdf).

**Barrera, Victor Hugo, y otros.** Magnitud de la producción de Yuca a nivel nacional y Manabí. [ed.] Comité de publicaciones Estación Experimental Portoviejo del INIAP. *Estrategias de vida de las comunidades de pequeños/as productores/as emprendedores/as de Yuca (Manihot esculent Crantz) en Manabí-Ecuador*. Portoviejo-Ecuador : Smart Marketing, 2010, págs. 17-24.

**Cámara de Productos Alimenticios Elaborados con Le, Productos Pesqueros Mexicanos y Empcadora Brener, S.A.** NMX-F-066-S-1978 DETERMINACIÓN DE CENIZAD EN ALIMENTOS. [En línea] [Citado el: 30 de Octubre de 2018.]

<https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF>.

**Camargo, Luis Alejandro, Arboleda, Maria Nohemi y Cardona, Edison.** Producción de Energía limpia en Colombia, La base Para un Crecimiento Sostenible. [En línea] 2013. [Citado el: 28 de Agosto de 2018.]

[https://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia\\_Feb2013.pdf](https://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia_Feb2013.pdf).

**Campodónico, Humberto.** Visión general de los cambios en las legislaciones de petróleo y gas. *Reformas E Inversión en la industria de Hidrocarburos de América Latina*. Santiago e Chile| : Naciones Unidas, 2004, págs. 11-25.

**Cardona, Carlos Daniel, y otros.** Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. 2005, Vol. 2, págs. 3-18.

**CEPAL.** Efectos del cambio climático en las costas de América Latina y el Caribe. *Efectos del cambio climático en las costas de América Latina y el Caribe*. [En línea] 2016. [Citado el: 03 de mayo de 2018.] <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>.

- Cock, James H.** La Yuca: características e Importancia. [ed.] J. Carlos Lozano y James H. Cock. *LA YUCA Nuevo Potencial para un Cultivo Tradicional*. Cali, Colombia : Centro ianternacional de Agricultura Tropical, 1989, págs. 19-38.
- Cock, James H.** La Yuca: En la aimentación y la Industria. [ed.] J. Carlos Lozano y James H. Cock. *LA YUCA, Nuevo potencial para un cultivo tradicional*. Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989, págs. 41-70.
- Compañía Nestlé, S.A. y Cafès de Veracruz, S.A. de C.V.** NMX-F-374-1983 ALIMENTOS, ALMIDÒN. DETERMINACIÒN CUALITATIVA PRUEBA LUGOL. [En línea]
- Díez, Ferran Ballester, Tenías, José María y Pérez-Hoyos, Santiago.** EFECTOS DE LA CONTAMINACIÒN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD. 1999, Vol. 73, págs. 15-21.
- Campoverde, Dr. Edgar Lastra PETROECUADOR..** *Informe Resultados Bioetanol de Yuca*. Esmeraldas : s.n., 2018.
- EcoBotánico.** EcoBotánico; Yuca. [En línea] 2016. [Citado el: 23 de Julio de 2018.] <https://www.ecobotanico.com/yuca/>.
- ECODES.** Calidad del Aire y Salud. [En línea] 2010. [Citado el: 03 de mayo de 2018.] <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes>.
- Pimental, David y Patzek, Tad.** *Ethanol Production Using Corn, Switchgrass and Wood*. , 2005, Natural Resources Research, Vol. 14, págs. 65-76.
- Ferran, Ballesteres.** Scielo; Contaminación atmosférica, cambio climatico y salud. [En línea] 2003. [Citado el: 28 de Agosto de 2018.] [https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1135-57272005000200005&script=sci\\_arttext&tlng=es](https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1135-57272005000200005&script=sci_arttext&tlng=es).
- Fontaine, Guillaume.** Conflictos socio-ambientales y gobernabilidad amazónica. [ed.] Alicia Torres. *El precio del petróleo*. Quito-Ecuador : Abya-Ayala, 2003, págs. 41- 80.
- García, Tomás, y otros.** Hidrocarburos no convencionales y geotermia. [ed.] Universidad Pontificia COMILLAS Asociación Nacional sw Ingenieros ICAI. *Usos del agua en las nuevas tecnologías energéticas*. Madrid : s.n., 2015, págs. 51-66.
- GEOTERMIA.** Los problemas del uso de combustibles fósiles. [En línea] 2012. [Citado el: 03 de mayo de 2018.] <http://www.geo-termia.com/blog/informacion-general/problemas-uso-combustibles-fosiles.html>.
- González, Andrés Fernando, y otros.** Combustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. 2008, Vol. 28, págs. 70-82.

- Google.** Google Maps. [En línea] 2018. [Citado el: 25 de junio de 2018.]  
<https://www.google.com/maps/@-1.6586728,-78.6774664,764m/data=!3m1!1e3>.
- Monsalve, John Fredy, Medina, Victoria Isabel y Ruiz, Angela Adriana.** Producción de Etanol a partir de la Cascara de Banano y Almidón de Yuca. 2006, Vol. 73, págs. 21-27.
- OMS.** Organización Mundial de La Salud. [En línea] 2015. [Citado el: 03 de mayo de 2018.]  
<http://www.who.int/globalchange/es/>.
- Perdomo, Geronimo.** PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE. 2002, Vol. 3, págs. 11-17.
- Perdomo, Gilberto.** PLÁSTICOS Y MEDIO AMBIENTE. 2002, Vol. 3, págs. 6-10.
- Ramos, Fernando Daniel, Díaz, María Soledad y Villamar, Marcelo Armando..** BIOCOMBUSTIBLES. 2016, Vol. 25, págs. 69-73.
- Rofman, Alejandro B.** Los circuitos del petróleo, el carbón y el azúcar. *Las Economías regionales a fines del siglo XX*. Buenos Aire : Ariel, 1999, págs. 235-240.
- Sanchez, Andrea Milena.** PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES LIGNOCELULÓSICOS. 2010, Vol. 1, págs. 15-31.
- Secretaria de Agricultura y recursos Hidráulicos, y otros.** NMX-F-083-1986. [En línea] [Citado el: 30 de Octubre de 2018.] <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-083-1986.PDF>.
- Serna, Fabiola, Barrera, Luis y Montiel, Héctor.** IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO EN EL USO DE BIOCOMBUSTIBLES. 2011, Vol. 6, págs. 100-114.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN.** NTE INEN 2478: Etanol Anhidro. [En línea] 2009. [Citado el: 12 de Julio de 2018.] <https://archive.org/details/ec.nte.2478.2009>.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización.** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN935:2016. [En línea] 02 de 2016. [Citado el: 19 de Julio de 2018.]  
<http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/nte-inen-935-9.pdf>.
- Tejada, Lesly, y otros.** PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE JARABAES GLUCOSADOS DERIVADOS DE CASCARAS DE NARANJA Y PIÑA. 2010, Vol. 5, págs. 15-32.
- Torres, Jaime, y otros.** ESTUDIO DE LA MEZCLA DE GASOLINA CON 10% DE ETANOL ANHIDRO. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS. 2002, Vol. 2, págs. 71-82.

**Vázquez, H J y Dacosta, O.** Scielo; Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. [En línea] 2007. [Citado el: 28 de Agosto de 2018.] [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432007000400004&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432007000400004&script=sci_arttext&tlng=pt).

## ANEXOS

### ANEXO A Análisis físico químicos de Yuca (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ)



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD SALUD PÚBLICA**  
**ESCUELA NUTRICIÓN Y DIETÉTICA**  
**LABORATORIO BROMATOLOGÍA**

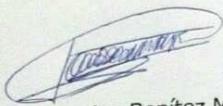
ANÁLISIS DE LABORATORIO

REALIZADO EN PROYECTO DE PRÁCTICAS PREPROFESIONALES DE: Escuela  
Ingeniería Química  
Alumna egresada: Eliana Monserrath Tipantasig Córdova  
FECHA: 15/05/2018  
MUESTRA: YUCA

MUESTRAS	Humedad	AZÚCARES REDUCTORES	Fibra	Cenizas	Almidón
Repetición 1	49.35	5.8	3.3	3.7	35.2
Repetición 2	48.92	4.9	2.9	3.5	36.4
Repetición 3	48.69	5.7	3.1	3.7	35.9

Gramos contenidos en 100 g de muestra procesada.

Atentamente,



Lourdes Benítez MSc.  
**TECNICA DOCENTE**  
**LAB. BROMATOLOGÍA**



**ANEXO C** Proceso de Obtención de bioetanol



A



B



C

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIPANTASIG ELIANA	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN		
<i>A. Muestra de Yuca a usar</i>	CERTIFICADO •		LAMINA	ESCALA	FECHA
<i>B. Pelado de la muestra</i>	APROBADO •		01	1:1	17/05/2018
<i>C. Rallado de yuca</i>	POR APROBAR •				



D

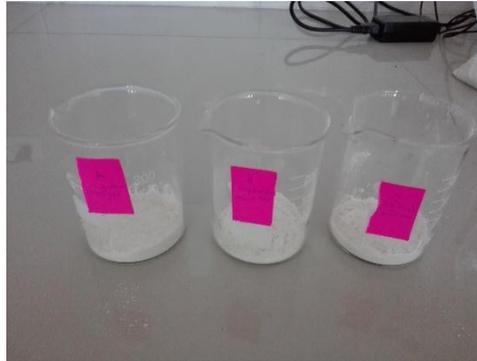


E

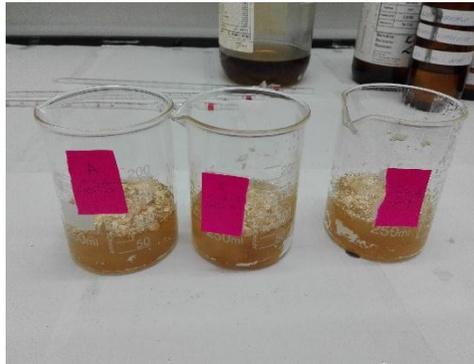


F

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN		
<i>D. Pesado de la muestra a secar y colocación en bandejas</i>	CERTIFICADO •	TIPANTASIG ELIANA	LAMINA	ESCALA	FECHA
<i>E. Secado de la muestra en estufa a 80°C</i>	APROBADO •		02	1:1	17/05/2018
<i>F. Molienda de muestra</i>	POR APROBAR •				



G



H



I

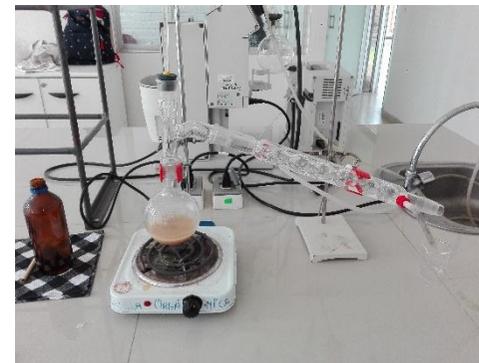
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN		
<i>G. Preparación de la muestra</i>	CERTIFICADO •	FACULTAD DE CIENCIAS	LAMINA	ESCALA	FECHA
<i>H. Hidrólisis de la muestra</i>	APROBADO •	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	03	1:1	17/05/2018
<i>I. Pesaje de Levaduras</i>	POR APROBAR •	TIPANTASIG ELIANA			



J



K



L

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIPANTASIG ELIANA	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN		
J. <i>Pesaje de azúcar</i>	CERTIFICADO •		LAMINA	ESCALA	FECHA
K. <i>Fermentación de la muestra</i>	APROBADO •		04	1:1	17/05/2018
L. <i>Destilación a 72°C</i>	POR APROBAR •				

*ANEXO D Obtención de Bioetanol por hidrólisis ácida*



A



b



C

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIPANTASIG ELIANA	PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN		
a. <i>Materia Prima</i>	CERTIFICADO •		LAMINA	ESCALA	FECHA
b. <i>Rallado de la muestra</i>	APROBADO •		05	1:1	17/05/2018
c. <i>Muestra molida</i>	POR APROBAR •				



D



e



F

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIPANTASIG ELIANA	<b>PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE YACÓN</b>		
d. <i>Adición de HCl</i>  e. <i>Medición de pH</i>  f. <i>Muestra Preparada para hidrólisis</i>	CERTIFICADO • APROBADO • POR APROBAR •		LAMINA	ESCALA	FECHA
			06	1:1	17/05/2018



G



h

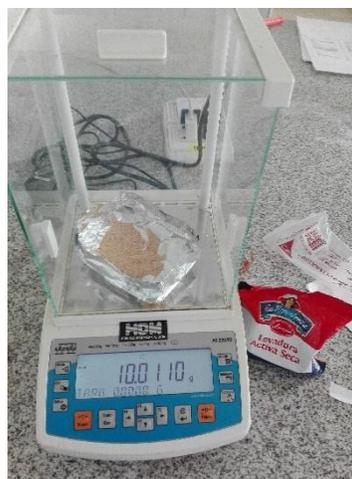


i

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIPANTASIG ELIANA	<b>PROCEDIMIENTO DE            OBTENCIÓN DE HARINA DE            YACÓN</b>		
<i>g. Ingreso de muestra a autoclave</i>	CERTIFICADO •		LAMINA	ESCALA	FECHA
<i>h. Autoclave marca Tuttnauer</i>	APROBADO •		07	1:1	17/05/2018
<i>i. Muestra hidrolizada</i>	POR APROBAR •				



J



k



l

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIPANTASIG ELIANA	<b>PROCEDIMIENTO DE            OBTENCIÓN DE HARINA DE            YACÓN</b>		
j. <i>Neutralización de la muestra</i>	CERTIFICADO •		LAMINA	ESCALA	FECHA
k. <i>Pesaje de levadura</i>	APROBADO •		08	1:1	17/05/2018
l. <i>Pesaje de Cloruro de amonio</i>	POR APROBAR •				



M



n



o

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b>  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  TIPANTASIG ELIANA	PROCEDIMIENTO DE <b>OBTENCIÓN DE HARINA DE            YACÓN</b>		
m. <i>Fermentación de muestra</i>	CERTIFICADO •		LAMINA	ESCALA	FECHA
n. <i>Destilación</i>	APROBADO •		08	1:1	17/05/2018
o. <i>Deshidratación</i>	POR APROBAR •				